

# 太湖生态清淤及底泥资源化利用建议

丁 瑞<sup>1,2</sup>, 范子武<sup>1,2</sup>, 王晓宇<sup>1,2</sup>, 吴 几<sup>1,2</sup>, 谢 忱<sup>1,2</sup>

(1. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029;

2. 水利部太湖流域水治理重点实验室, 江苏 南京 210029)

**摘要:**从水环境、水生态、底泥污染、蓝藻水华等方面概述了太湖水生态环境现状;考虑底泥污染、湖泛治理等情况,确定清淤范围主要集中在竺山湖、梅梁湖、西沿岸和贡湖等重点湖湾区,介绍了针对太湖清淤而研发的高效生态清淤固淤一体化智能环保装备船。针对目前清淤尾水处置难题,提出了对关键污染因子总氮靶向去除的尾水深度净化研究建议;针对底泥资源化利用难题,提出了底泥资源化利用产业化分析及回用于太湖生态治理的建议。

**关键词:**生态清淤;底泥资源化利用;湖泊管理;水生态修复;太湖

**中图分类号:**X505 **文献标识码:**A **文章编号:**1007-7839(2024)11-0016-0005

## Suggestions on ecological dredging and resource utilization of sediment in the Taihu Lake

DING Rui<sup>1,2</sup>, FAN Ziwu<sup>1,2</sup>, WANG Xiaoyu<sup>1,2</sup>, WU Ji<sup>1,2</sup>, XIE Chen<sup>1,2</sup>

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, National Energy Administration, Ministry of Transport, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 2. Key Laboratory of the Taihu Basin Water Treatment of Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China)

**Abstract:** The current situation of water ecological environment in the Taihu Lake is summarized from the aspects of water environment, water ecology, sediment pollution, cyanobacteria bloom, etc; Considering the situation of sediment pollution, lake bloom control, etc., it is determined that the dredging scope is mainly concentrated in the key lake bay areas such as Zhushan Lake, Meiliang Lake, the west coast and Gonghu Lake. This paper introduces the highly efficient ecological dredging and silting integrated intelligent environmental protection equipment ship developed for the dredging of the Taihu Lake. Suggestions have been put forward for the deep purification of tailwater by targeting the removal of key pollution factors such as total nitrogen, in response to the current difficulties in the treatment of dredged tailwater; Aiming at the difficult problem of sediment resource utilization, this paper puts forward the industrialization analysis of sediment resource utilization and the suggestions of reuse for ecological management of the Taihu Lake.

**Key words:** ecological dredging; utilization of sediment resources; lake management; water environment restoration; Taihu Lake

收稿日期: 2024-09-30

基金项目: 国家重点研发计划(2022YFC3202601);江苏省水利科技项目(2022040)

作者简介: 丁瑞(1989—),男,高级工程师,博士,主要从事河湖治理等研究工作。E-mail:dingrui@nhri.cn

太湖是我国第三大淡水湖,水域面积 2 338 km<sup>2</sup>,平均水深 1.90 m,多年平均水位 3.25 m,多年平均蓄水量 50.27 亿 m<sup>3</sup>,是典型的浅水碟型湖泊,具有防洪、排涝、供水、航运、旅游及生态保育等多方面功能,是流域水资源滞蓄和调度中枢<sup>[1]</sup>。

生态清淤作为清除太湖内源污染的主要措施,2007 年以来第一轮完成的 4 200 万 m<sup>3</sup>清淤工程,直接清除内源中有机质 117 万 t、总氮 6.26 万 t、总磷 1.83 万 t。已实施生态清淤湖区收到了湖泛、蓝藻发生概率下降、水质趋向好转的效果。一轮清淤清除了表层底泥中有效氮磷成分,削减底泥内源持续释放对太湖水质的影响<sup>[2]</sup>;改善局部湖区生境,利于水草的大面积恢复。生态清淤一定程度上切断了太湖“湖泛”发生链条,减少湖泛暴发的频率与强度。生态清淤改变湖底界面微环境,利于良性底栖生物群落恢复,2007 年全湖有超过 50% 的监测点位首位优势生物均为重污染指示生物(寡毛类的霍甫水丝蚓),到 2018 年这个占比降到 26%;2007 年太湖 8 个湖区中 5 个湖区首位优势种为霍甫水丝蚓,2018 年除梅梁湾外,其余 7 个湖区首位优势种均已转变为对水质要求较高、对污染更为敏感的生物(如河蚬、太湖大鳌蜚等)。

新一轮《太湖流域水环境综合治理总体方案》将太湖生态清淤纳入推进污染防治的主要内容,要求有序推进内源污染治理,实施新一轮生态清淤工程。《江苏省太湖生态清淤专项规划》提出的新一轮太湖生态清淤规模为 4 502 万 m<sup>3</sup>,安排在 2021—2035 年实施完成,建设总工期 15 年。近期(近 5 年)优先实施外源污染治理成效明显、水质提升较快的梅梁湖、竺山湖、贡湖及西沿岸乌溪港水域的生态清淤工程,清淤面积 79.32 km<sup>2</sup>、清淤量 1 804.8 万 m<sup>3</sup>。现已全面开始实施,进一步削减湖体内源污染,改善湖体生境。

## 1 太湖水生态现状

### 1.1 水环境现状

太湖在 20 世纪 60 年代水质良好,到 80 年代初期,水质仍可达到Ⅲ类,之后水质逐步下降。从 20 世纪 80 年代初期至 90 年代初期,太湖平均水体水质由以Ⅱ类水为主下降到以Ⅲ类水为主;从 90 年代中期至今,全湖平均水质下降为劣Ⅴ类。主要污染因子为 TN、TP、COD<sub>Cr</sub>、COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、BOD<sub>5</sub> 等。2022 年太湖年度水质为Ⅳ类。从 2007 年以来,太湖 COD<sub>Mn</sub>、NH<sub>3</sub>-N、TN 基本呈下降趋势,但

2010 年以来 TP 反弹,距《太湖流域水环境综合治理总体方案(2022 年印发)》要求 2025 年湖体总磷小于 0.065 mg/L 的目标还有一定距离<sup>[3-4]</sup>。

湖泊营养状况评价采用《地表水资源质量评价技术规程》(SL395—2007)评价标准,评价指标为 TP、TN、Chl-a、COD<sub>Mn</sub>和透明度共 5 项。太湖总体处于富营养化水平,其中东太湖、漫山湖、箭湖、胥湖为轻度富营养化,其他湖区为中度富营养化。近年来湖泛易发区主要集中在西沿岸湖区的符淖港河师淖港附近水域,以及梅梁湖湖区闻江口、月亮湾及贡湖西北沿岸水域。

### 1.2 水生态现状

#### (1)水生植物

经调查统计,2021 年水生植物分布面积(覆盖度≥5%)春季为 197 km<sup>2</sup>,夏季为 270 km<sup>2</sup>。物种盖度均由湖岸向湖心显著降低,近岸坡降较小的水域,大型水生植物分布的面积较广;春季太湖水生植被主要分布在东部沿岸区、东太湖和贡湖<sup>[5]</sup>。夏季贡湖湾南部、胥湖湾外缘、以及东太湖分布面积增加明显;水生植物覆盖度均值春季、夏季分别为 9%、19%。空间分布上,春季盖度:东部沿岸区(21%)>贡湖(11%)>东太湖(7%)>梅梁湖(1%);夏季盖度:东太湖(44%)>东部沿岸带(36%)>贡湖(17%)>梅梁湖(1%)。

#### (2)浮游植物

近 40 年来太湖浮游植物的种类组成和数量均发生了巨大的变化,总的趋势是种群数不断减少,部分优势种类数量剧增,藻类小型化的趋势愈来愈明显,藻类优势种群演变为绿藻、硅藻和蓝藻。20 世纪 80 年代末以来,以微囊藻为主要优势种的蓝藻水华在太湖北部湖区频频暴发,并呈现向其他湖区扩散的趋势<sup>[6]</sup>。太湖浮游植物季节更替具有一定的规律,其生物量表现为夏季高、冬季低,全湖夏季以微囊藻和直链硅藻为优势,冬季基本没有绝对的优势种,裂面藻和钟罩藻数量略多,春季一般以绿藻和硅藻为相对优势种,秋季以隐藻和裸藻等为相对优势种。从平面分布来看,太湖北部梅梁湖、竺山水体一年四季,浮游植物含量均处于相对较高地位,种类多为蓝藻门的微囊藻属,是导致水华发生的主要种类<sup>[7]</sup>;湖东南东茭咀一带,因水生植被茂盛,浮游植物总生物量始终处于较低的水平。2022 年,太湖浮游植物共 143 种,主要优势种为蓝藻门微囊藻和鱼腥藻。蓝藻在秋冬季风的影响下,容易在湖湾堆积,死亡或休眠后沉入底泥,形成高有机含量

的浮泥。

### (3)浮游动物

根据 2022 年调查结果,太湖浮游动物共 83 种,主要为原生动物和轮虫。原生动物中常见种为焰毛虫、急毛虫和砂壳虫等;轮虫中常见种为暗小异尾轮虫、针簇多肢轮虫和角突臂尾轮虫和萼花臂尾轮虫等。根据历年数据,不同季节的群落组成结构差异不大,但不同湖区之间生物量为五里湖、梅梁湖>西太湖>东太湖,太湖敞水区和水草分布较多区域以枝角类和桡足类为主,在富营养化程度较高的水域如竺山湖和梅梁湖小型轮虫较多。从浮游动物的污染指示种群看,萼花臂尾轮虫、针簇多肢轮虫、焰毛虫、节毛虫等浮游动物常年出现在太湖北部湖区的竺山湖、梅梁湖。

### (4)底栖动物

陶艳茹等<sup>[8]</sup>2023 年枯水期(2月)、平水期(5月)、丰水期(8月),在太湖北部、西部、南部、东部和中部湖区的 16 个采样点进行水样、底泥及底栖动物的分析鉴定,其中节肢动物和软体动物种类较多,分别为 16 种和 15 种;环节动物最少,为 7 种。结果表明,太湖东部湖区底栖动物多样性较好,Shannon-Wiener 指数平均值(4.86)和丰富度指数平均值(6.82)明显高于其他湖区,软体动物最多,节肢动物最少;北部湖区的霍甫水丝蚓(*Limnodrilus hoffmeisteri*)、寡鳃齿吻沙蚕(*Nephtys oligobranchia*)以及摇蚊科等耐污物种个数显著高于其他湖区,摇蚊类的数量受水期变化的波动较大;太湖丰水期常见种最多,摇蚊类种类和数量明显降低,生物多样性较低。

## 1.3 底泥污染情况

太湖有机质最大值为 4.64%,位于湖心区和东太湖中部;最小值为 0.72%,位于太湖南部区域。太湖水体中磷是最主要污染因子,也是富营养化的控制性指标。底泥 TP 含量越大,对上覆水体的污染越大。调查结果表明底泥 TP 最大值为 1 927.0 mg/kg,位于竺山湖北部和胥湖东部;最小值为 42.9 mg/kg,主要集中在湖心区<sup>[9]</sup>。TN 是影响太湖各湖区水质的主要指标,调查 TN 最大值为 5 001.9 mg/kg, TN 质量浓度较高区域主要集中在竺山湖、梅梁湖北部和东太湖北部;最小值为 396.9 mg/kg,较小值主要集中在南沿岸区。

## 1.4 蓝藻水华情况

蓝藻大量暴发集聚和死亡后,在适宜的气象、水文条件下,与底泥中的有机物在微生物作用下厌氧分解,释放硫化物、甲烷和硫醚类物质,底泥上泛

形成褐黑恶臭的黑水团,导致水质迅速恶化、生态系统严重破坏的现象。2000 年前太湖蓝藻水华一般只出现在夏季 5—7 月,覆盖面积小于 100 km<sup>2</sup>,2000 年之后覆盖面积逐渐增加至 2007 年的 979 km<sup>2</sup>,水华出现时间达 6 月以上,并在 5 月下旬在贡湖水域暴发湖泛,影响无锡贡湖取水口水质引发无锡市供水危机,造成极大的社会影响<sup>[10]</sup>。

至 2022 年,太湖年均蓝藻水华面积为 2010 年以来最低。太湖蓝藻平均密度为 5 575 万个/L,比 2020 年、2021 年分别下降 35.5%、15.4%;梅梁湖藻密度较高,但近年降低趋势显著。2022 年太湖蓝藻水华面积最大出现在 10 月 19 日,为 441 km<sup>2</sup>,蓝藻水华暴发主要集中在孟夏与初秋。

## 2 太湖清淤方案

太湖清淤需要考虑底泥污染情况、湖泛治理、安全需求和生态保护需求等多因素,清淤范围主要集中在竺山湖、梅梁湖、西沿岸和贡湖等重点湖湾区。

太湖清淤需要重点考虑太湖湖泛区域。太湖湖泛的发生是蓝藻堆积与底泥共同作用的结果。太湖湖泛发生主要位于太湖西沿岸、竺山湖、梅梁湖、月亮湾以及贡湖等区域。随着时间的积累,蓝藻残体也在区域内沉降,成为蓝藻长期堆积的区域(又称聚藻区)。常年累月的蓝藻堆积、死亡,造成上述区域近表层底泥劣质化程度高,主要表现为含固率低( $\leq 5\%$ ),底泥结构松散、流动性强、底泥氮磷以及有机质含量高、还原性强,在夏季特定的气温和风浪环境条件下,上浮形成大面积湖泛“黑水团”,释放大量营养物质,严重影响湖泊水环境质量<sup>[11]</sup>。

因此在全湖常规污染底泥生态清淤的基础上,清除重点湖区蓝藻死亡残体和表层悬浮胶体状腐殖质,是降低次年蓝藻湖泛发生风险和频次的关键,对改善太湖湖泊水环境具有直接意义。

受蓝藻湖泛发生位置的不确定性和聚藻区表层底泥流结构松散、易流动、底泥氮磷以及有机质含量高、底泥还原性强等特点的限制,目前仍未有精确监测表层有机污染浮泥的技术手段,太湖湖底蓝藻残体堆积情况和有机污染浮泥的分布也未能精准定位,当前的蓝藻湖泛防控清淤主要以近年蓝藻暴发聚集区范围为依据,以 2020 年贡湖蓝藻湖泛暴发分布情况为例,2020 年 8 月贡湖西北沿岸 14 km 岸带突发大规模蓝藻湖泛,宽度达 400~500 m,总面积规模约 600 万 m<sup>2</sup>,给贡湖近岸水



体生态环境和沿岸居民生活条件带来较大影响。

考虑当前太湖水体 TP 质量浓度未得到有效控制,水体富营养化蓝藻湖泛暴发风险在一定时间内仍将是太湖水生态环境面临的最大问题,从蓝藻湖泛防控需求和发生规律出发,在太湖西沿岸及竺山湖西北侧、梅梁湖西岸、月亮湾、贡湖西北侧等重点湖湾和岸带蓝藻湖泛频发的水域,重点开展有针对性的防控清淤工作。

根据聚藻区表层底泥含固率低、结构松散、流动性强的特点,从清除表层浮泥的防控清淤需求出发,比选目前清淤疏浚船机的施工工艺,建议采用环保绞吸式清淤船及气动吸泥泵清淤船进行聚藻区防控清淤。

太湖清淤先行从梅梁湖中度及以上的污染底泥开始,由中交天津航道局有限公司实施。针对太湖清淤,研发了新型高效生态清淤固淤一体化智能环保装备船,于2023年10月布设到梅梁湖施工水域,分别由太湖浚清1(环保绞吸船)、太湖之星1号(除杂调蓄船)、太湖之星2号(脱水减容船)3艘船组成,形成集生态清淤、淤泥固化、尾水处置于一体的集约高效生产线,综合设计生产能力为每天清淤5 000 m<sup>3</sup>(原始底泥),产生淤泥固化土约2 500 m<sup>3</sup>。

太湖浚清1船为环保绞吸船,每小时可清淤600 m<sup>3</sup>。该船优化了船型设计,同时配置了新型螺旋环保绞刀,采用变频系统、10 kV 岸电接入等最新技术,成功提高了疏浚产量,并实现高质量浓度疏浚。太湖之星1号船为除杂调蓄平台,由高效除杂系统、自动化絮凝剂投放系统、泥浆池(1 000 m<sup>3</sup>)和调蓄池(1 000 m<sup>3</sup>)等部分组成;太湖之星2号船为脱水减容平台,由先进板框压滤系统、集成泥饼输送系统、尾水舱等部分组成,共有16组板框,经板框压滤后的固化泥土含水率约50%。该装备为清淤固淤一体化国际首制船,可实现智能控制和远程控制。

与传统清淤相比,一体化装备平台工艺大幅减少了清淤吹距,装备可在湖面上灵活移动,特别适合太湖生态清淤项目点多、面广、量大的实际情况;且平台通过工艺革新,提升了疏浚质量浓度,实现自动疏浚和远程控制功能,多措并举大幅提高了生产效率;该装备可同步完成清淤、除杂、调蓄及脱水减容等生产作业流程,集成化程度高,可实现生产线流水作业。

### 3 尾水处置建议

排放尾水水质主要指标 TP、COD 要求为《地表

水环境标准》(GB3838—2002)中地表Ⅲ类水标准,主要指标 $\rho(\text{TP}) < 0.2 \text{ mg/L}$ , $\rho(\text{COD}) < 20 \text{ mg/L}$ , $\rho(\text{NH}_3\text{-N}) < 1.0 \text{ mg/L}$ 。TN 排放标准在《太湖地区城镇污水处理厂及重点工业行业主要水污染物排放限值》(DB321072—2018)的基础上适当提高,即 $\rho(\text{TN}) < 6 \text{ mg/L}$ 。悬浮物质量浓度按照《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB18918—2002)中二级标准,即 $\rho(\text{SS}) < 30 \text{ mg/L}$ 。

本工程尾水处理采用物理沉淀、化学絮凝、微生物处理、曝气、沉水植物净化的综合处理方法。一二级沉淀池喷淋 PAM、PAC 等絮凝剂,三级沉淀池采用微生物处理,四五级沉淀池采用曝气处理,六级沉淀池采用水生植物净化。

表1 太湖底泥固化后余水水质与处理设计标准

序号	水质指标	底泥固化后余水水质/(mg/L)	尾水处理设计值/(mg/L)
1	TP	≤0.3	≤0.2
2	COD	30~50	≤20
3	NH <sub>3</sub> -N	4.5~8.5	≤1.0
4	TN	10~16	≤6
5	SS	50~80	≤30

本工程尾水处理采用物理沉淀、化学絮凝、微生物处理、曝气、沉水植物净化的综合处理方法。一二级沉淀池喷淋 PAM、PAC 等絮凝剂,三级沉淀池采用微生物处理,四五级沉淀池采用曝气处理,六级沉淀池采用水生植物净化。

当前清淤尾水处理主要采用在岸上处置达标直排入河的模式,排放标准主要参照《地表水环境标准》(GB3838—2002)中河流Ⅲ类水标准排放,尚不满足直排入湖的排放标准。随着生态环境治理力度加大,对尾水直接排放入湖提出了新挑战。淤泥尾水处置核心是氮的去除,传统的尾水处理方法无法对大规模水体中的关键污染因子(TN)等进行深度去除,难以满足受纳地表水水质要求,引起二次污染问题。对于高质量浓度含氮废水研究较多,生物脱氮是主流工艺,随着现有设施、设备不断改良,工艺日趋完善,同时一些新工艺、新技术也被逐步应用到工程中来。但对于低质量浓度含氮污水的工程应用研究尚处于初始阶段,对于清淤尾水关键污染因子总氮的高效去除,尚需要进一步研究,以实现清淤尾水直排回湖库。未来需要研究的方向包括:

(1)清淤尾水深度处理技术研发。调查太湖底泥污染特性,分析脱水方式对尾水的影响,研究传统生化尾水深度处理技术在太湖清淤中的适用性,识别清淤尾水深度处理关键制约因子,研究絮凝沉淀净化、深度脱氮处理、生态净化等多级组合处理方式开展清淤尾水综合处理工艺,重点针对关键污染因子TN进行靶向去除研究,形成清淤尾水深度净化组合工艺。

(2)脱水干化装备与尾水处理技术示范。试制小型化船式压滤脱水装备,开展现场试验,分析试验结果并优化装备及运行参数;开展清淤尾水净化试验,通过实际的出水水质动态调控净化工艺参数,对尾水处理工艺及设备进一步优化。

## 4 底泥资源化利用建议

清淤底泥资源化利用主要分为生态环境构建、新型建材应用、肥料化应用3个方向。淤泥资源化利用因为各种原因不能做到精准、精细、有规划地资源化利用,从而导致使用成本增加,阻碍了再生产品的大规模使用。目前大部分工作还处于科研、实验阶段或者面对市场浅尝辄止,底泥资源化利用技术难以实现大规模产业化利用,需要积极的政策支持、市场引导、企业和科研机构的技术支持,从而形成良性的淤泥循环利用的模式。

针对以上问题,需要围绕太湖底泥资源化利用开展研究,主要基于淤泥处置的生态化、无害化、资源化“三化”原则,广泛开展底泥资源化利用路径及其产业化调查,重点关注淤泥处理处置现有市场规模及处理能力、资源化利用及产出路径、成本及效益情况、产业发展趋势和发展环境等,探明太湖淤泥资源化利用的政策环境、经济技术环境、产业现状与问题、市场机遇,形成太湖淤泥资源化利用新型成套技术装备与路径建议。

### (1)淤泥资源化利用产业化调查

采用政策调研、文献调研、座谈访问、案例调研及座谈访问调研等多种方式,调查太湖流域及周边区域淤泥资源化利用的工业化程度、产业化生产模式、处理处置能力、产业发展前景,以及淤泥处理处置相关的标准、政策性指导文件要求,摸清环太湖区域近远期淤泥处理处置的当前存量、潜在需求以及产业能力、市场发展的政策环境。

### (2)太湖淤泥资源化利用产业化适用性分析

采用归纳演绎方法,通过文献调研,从工艺特点、适用条件、投资与效益等角度,系统分析国内外

不同的淤泥资源化利用及后续处置模式的优点与不足;调查分析太湖典型区域底泥厚度及深度,开展底泥成分测试(总氮、总磷、有机质含量等),分析太湖底泥污染特征;结合环太湖地区的自然地理特性,分析太湖底泥资源化利用的经济与技术环境,识别相关淤泥资源化利用及后续处置模式本地化的可能性。

### (3)生态护坡材料研发与性能研究

采用适当的脱水减容手段将淤泥含水率控制在30%以下,进一步将淤泥与胶凝材料混合均匀,通过调节各自比例与工艺条件,压制成符合抗压等级要求、浸出水质达标的生态护坡砖材料,评估其作为硬化护坡、植生护坡、透水护坡的综合性能。

### (4)新型净水材料研发与性能研究

以淤泥为主,辅以少量水泥或菱镁作为胶结料,通过蒸汽养护、自然养护、蒸压养护得到新型净水材料;采用淤泥、粉煤灰等制备水处理陶粒和建筑用陶粒等净水材料,并评估材料物理化学性质、指标改善效果、热稳定性、回收再利用性能,研究水质改善机制。

### (5)太湖淤泥构建湖滨生态湿地示范研究

在研究区域选取试点,开展湖滨生态湿地示范应用,铺设多种生态护坡材料长期观察材料性能变化,研究不同条件下净水材料的应用效果,研究成果进一步为材料的完善和推广提供支持。

### (6)太湖淤泥资源化利用产业化路径分析

基于前述需求分析、能力分析和适用性分析等,筛选国内河湖淤泥资源化利用的典型案例,分析不同淤泥资源化利用方式、处理工艺的实际效果及产业化发展的可能性,提出适合太湖淤泥资源化利用路径建议。

## 5 结 语

生态清淤作为清除太湖内源污染的主要措施,2007年以来第一轮完成的4 200万 $\text{m}^3$ 清淤工程,直接清除内源中有机质117万t、总氮6.26万t、总磷1.83万t,已实施生态清淤的湖区收到了湖泛、蓝藻发生概率下降、水质趋向好转的效果。新一轮太湖生态清淤规模4 502万 $\text{m}^3$ ,已全面开始实施,将进一步削减湖体内源污染,改善湖体生境。

本文从水环境、水生态、底泥污染、蓝藻水华等方面概述了太湖水生态环境现状,北部竺山湖、梅梁湖、贡湖及西沿岸总体水生态环境相对较差、底

(下转第25页)

研究对象,在对其基底、水文、水质、生物调查分析的基础上,找出河湖生态系统存在的问题,明确项目定位、原则及措施,并提出基底修复、植物恢复、运维监管3项关键技术方案。河湖生态缓冲区建设应进一步加强长效管护机制,针对缓冲区开展监测评估、适应调整,稳定其生态服务功能。

#### 参考文献:

[1] 侯利萍,何萍,钱金平,等. 河岸缓冲带宽度确定方法研

究综述[J]. 湿地科学,2012,10(4):500-506.

[2] 康亭,王玉红,张玮,等. 江苏省河湖生态缓冲带构建研究综述[J]. 环境保护与循环经济,2023(10):49-55.

[3] 许秋瑾,胡小贞,蒋丽佳. 太湖缓冲带现状与生态构建[M]. 北京:科学出版社,2015.

[4] 丁继辉,冯晓红,徐锡华,等. 河沟岸坡滨水缓冲带生态重建模式及效应[J]. 江苏水利,2017(10):1-4,8.

[5] 管桂玲,付东王,程咎,等. 长江中下游洲滩型湿地生态系统重构研究[J]. 人民长江,2023,54(11):36-42.

(上接第20页)

泥污染重、湖泛发生频率较高,清淤范围也主要确定在该区域。介绍了针对太湖清淤而研发的高效生态清淤固淤一体化智能环保装备船,综合设计生产能力为每天清淤5 000 m<sup>3</sup>,产生淤泥固化土含水率约50%。针对目前清淤尾水处置难题,提出了对关键污染因子TN靶向去除的尾水深度净化研究建议。针对底泥资源化利用难题,提出了底泥资源化利用产业化分析及底泥回用于太湖生态治理的建议。

#### 参考文献:

[1] 单玉书,沈爱春,刘畅. 太湖底泥清淤疏浚问题探讨[J]. 中国水利,2018(23):11-13.

[2] 毛新伟,仵荟颖,徐枫. 太湖底泥主要营养物质污染特征分析[J]. 水资源保护,2020,36(4):100-104.

[3] 李霞,张建华,殷鹏,等. 太湖总磷升高的原因分析[J]. 江苏水利,2023(3):22-24.

[4] 朱伟,吕艺,薛宗璞,等. 2020年太湖流域洪水及太湖总

磷变化趋势分析[J]. 水资源保护,2023,39(6):16-22.

[5] 吴东浩,陈芳斐,孟晓辰,等. 基于沉水植物的太湖适宜生态水位研究[J]. 中国环境科学,2023,43(4):1834-1843.

[6] 张民,阳振,史小丽. 太湖蓝藻水华的扩张与驱动因素[J]. 湖泊科学,2019,31(2):336-344.

[7] 丁文浩,李云,徐世凯,等. 变化风场下太湖表层湖流特征及其对蓝藻迁移的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2022,50(6):58-65.

[8] 陶艳茹,董稳静,罗明科,等. 太湖底栖动物时空分布特征及基于底栖动物完整性[J]. 环境科学研究,2024(37):752-763.

[9] 陆志华,王元元,蔡梅,等. 太湖浅层底泥营养盐污染特征评价[J]. 人民长江,2022,53(12):23-29.

[10] 吴林锋,朱云,朱喜. 2007—2020年太湖蓝藻持续暴发影响因素分析[J]. 水资源开发与管理,2023,9(2):43-49,84.

[11] 刘俊杰,陆隽,朱广伟,等. 2009—2017年太湖湖泛发生特征及其影响因素[J]. 湖泊科学,2018,30(5):1196-1205.