

于桥水库生态清淤关键技术与工程示范

王翠文¹, 方志国², 王惟清³

(1. 天津市水务规划勘测设计有限公司, 300204, 天津; 2. 天津市引滦工程黎河管理中心, 064200, 唐山;
3. 大连理工大学机械工程学院, 116024, 大连)

摘要: 于桥水库是引滦入津工程的重要调蓄水库及天津市最大的集中式饮用水水源地, 多年来, 受上游来水与流域面源输入长期影响, 库区内源污染负荷持续累积, 已成为制约水质安全与水生态改善的关键因素。生态清淤作为快速移除历史沉积污染物、切断内源污染释放的有效手段, 亟须构建兼顾工程效率与生态安全的“精准疏浚—污染防控—资源化利用”全过程管控技术路径。依托2024年于桥水库清淤试点工程, 在系统解析库区底泥营养盐空间分布异质性及泥-水界面吸附-解吸特征的基础上, 科学确定了清淤范围与分层控制深度。施工选用环保绞吸式挖泥船开展带水精细化作业, 通过绞刀密封与浓度自动调控抑制扰动及污染物扩散; 底泥采用相变式真空预压与机械脱水协同固化工艺, 实现快速减容与稳定化; 尾水经“两级沉淀+澄清”处理, 配置磁混凝沉淀作为应急保障; 固化淤泥用于库区生态修复, 形成“移污—脱水—净水—回用”的闭环路径。试点工程累计清除污染底泥499万m³, 有效削减氮磷负荷, 抑制界面二次释放, 阻断了“污染—吸附—释放”的内源循环。该工程凝练形成的“精准清淤—脱水减容—尾水净化—资源回用”全链条技术体系, 在大型饮用水水源地内源污染治理中具有一定的技术可行性与推广价值。

关键词: 于桥水库; 生态清淤; 脱水固化; 尾水处理; 资源化利用; 内源污染; 精准管控

Key technologies and engineering demonstration of ecological dredging in Yuqiao Reservoir

Wang Cuiwen¹, Fang Zhiguo², Wang Weiqing³

(1. Tianjin Water Planning Survey and Design Co., Ltd., Tianjin 300204, China;
2. Lihe River Management Center of Tianjin Luanhe River Diversion Project, Tangshan 064200, China;
3. School of Mechanical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

Abstract: Yuqiao Reservoir serves as a critical regulating storage for the Water Diversion Project from Luanhe River to Tianjin City and is the largest centralized drinking water source for Tianjin Municipality. Due to long-term inputs from upstream inflows and non-point sources within the watershed, internal pollution loads within the reservoir have been continuously accumulating, posing significant constraints on water quality security and aquatic ecological improvement. Ecological dredging, as an effective measure for rapidly removing historically deposited contaminants and interrupting endogenous release, urgently requires the establishment of a whole-process management and control pathway—“precise dredging—pollution prevention and control—beneficial reuse”—that balances engineering efficiency with ecological safety. Drawing upon the 2024 Yuqiao Reservoir dredging pilot project and based on

收稿日期: 2025-11-02 修回日期: 2026-04-12

作者简介: 王翠文, 高级工程师, 主要从事水环境治理及水生态保护方面的工作。E-mail: cuiwenwang@163.com

a systematic analysis of the spatial heterogeneity of sediment nutrient distributions and adsorption-desorption characteristics at the sediment-water interface, the dredging area and layered excavation depth were scientifically determined. The construction employed an environmentally friendly cutter-suction dredger for precision operations underwater, minimizing disturbance and pollutant dispersion through cutterhead sealing and automated slurry concentration control. The dredged sediment was treated using a synergistic solidification process that combined phase-change vacuum preloading and mechanical dewatering to achieve rapid volume reduction and stabilization. Tailwater was processed via a “two-stage sedimentation + clarification” system, supplemented by magnetic coagulation precipitation as an emergency safeguard. The solidified sediment was subsequently utilized for ecological restoration within the reservoir area, thereby forming a closed-loop pathway of “pollutant removal-dewatering-water purification-reuse”. The pilot project removed a total of 4.99 million cubic meters of contaminated sediment, substantially reducing nitrogen and phosphorus loads, suppressing secondary nutrient release across the sediment-water interface, and disrupting the “pollution-adsorption-release” endogenous cycling, thereby safeguarding the reservoir’s water quality. The full-chain technical system developed through this project—“precise dredging-dewatering and volume reduction-tailwater purification-resource reuse”—demonstrates certain technical feasibility and application value for the treatment of internal pollution in large drinking water source areas.

Keywords: Yuqiao Reservoir; ecological dredging; dewatering and solidification; tailwater treatment; resource utilization; internal pollution; precise control

中图分类号: TV851 文献标识码: A 文章编号: 1000-1123(2026)14-0055-08

DOI: 10.3969/j.issn.1000-1123.2026.14.007

一、研究区概况

于桥水库是天津市最大的饮用水水源地及引滦入津工程的核心调蓄水库,属山谷与平原过渡型盆底水库,总面积135 km²,正常蓄水量4.2亿m³,最大库容15.59亿m³。引滦入津工程自1983年通水以来,为天津市提供了重要水源保障,但长期以来因受上游潘家口、大黑汀水库网箱养鱼、汇水区沿线及库周生产生活污染影响,水体氮磷含量偏高,蓝藻水华频发,供水安全受到影响。

在水环境治理技术体系中,控源截污、内源污染治理是关键环节。近年来,于桥水库相继实施上游潘家口、大黑汀水库网箱清除、库周村镇搬迁、入库河口湿地建设等工程,外源污染得到有效控制。然而,长期沉积于库底的氮磷营养盐及有机污染物成为存量污染源,当环境条件改变时,污染物经沉积物-水界面释放可引发二次污染。研究表明,水体磷浓度下降至一定程度后,沉积物中吸附态磷将快速释放。

在外源污染削减的基础上,沉积物内源污染释放逐渐成为湖泊富营养化和蓝藻水华暴发的主要驱动因素,实施生态清淤,快速移除内源污染底泥,对水质提

升与生态修复具有重要意义。

当前,科学推进水库减淤清淤已成为行业共识,并可通过摸清底数、创新技术与开展试点等举措推动精准实施。生态清淤以减少底泥营养盐释放为核心目标,具有高精度、低扰动及疏浚物安全处置等特征。本文以于桥水库清淤试点工程为例,系统阐述生态清淤关键技术环节,以期为同类工程提供参考。

二、于桥水库生态清淤关键问题分析

1. 底泥调查与污染特征分析

2023年12月,在于桥水库均匀布设59处柱状沉积物采样点,分析全氮、全磷、有机质含量;另设22处采样点开展表层20 cm底泥间隙水营养盐源-汇特征辨识分析。

(1) 营养盐垂向及水平分布特征

于桥水库的营养盐累积现象始于20世纪80年代,于2000年前后呈现快速堆积态势,对应沉积速率约为0.4~0.5 cm/a。追溯更早期时期的沉积过程,1953—1964年间沉积速率高达0.89 cm/a,自1964年以来速率显著下降至0.39 cm/a。基于水库自20世纪50年代建

成至今约70年的运营时长,按上述不同阶段速率加权估算,沉积物总厚度推测在27.3~62.3 cm之间。这一推断与现场柱状采样观测到的淤泥厚度(30~70 cm)基本吻合(见表1)。库区范围划分见图1。

监测结果显示,沉积物中有机质、全氮、全磷含量随深度增加呈递减趋势,10~60 cm深度出现明显拐点,60 cm以下全氮含量回落至20世纪80年代末历史同期水平(约800 mg/kg)。表层0~10 cm磷含量较高,表明磷主要源于近现代污染输入。表层底泥有机质含量为2.83%~29.9%(均值为15.9%),全氮含量为986~4480 mg/kg(均值为2230 mg/kg),全磷含量为419~1230 mg/kg(均值为670 mg/kg)。水平分布上,坝前、北岸峰山至宋家营大堤段、入库河口、南岸东部等区域表层营养盐浓度较高,且坝前和库东全氮、全磷含量高于其他片区(见图2~4)。

(2)底泥污染的源-汇特征辨识(底泥-水界面释放特征)

2024年1月进行的原位释放模拟试验表明,硝酸盐氮以沉降为主,氨氮全库区呈释放状态;总氮(TN)在坝前及库心下游表现为沉降,库岸及库心上游为释放。磷酸盐与总磷(TP)全库区均呈释放状态,释放通量峰值位于入库口区域,见图5~6。释放通量是一个用于量化内源污染强度的关键指标,指在单位时间内,单位面积的底泥-水界面向上覆水体释放的某特定污染物质的质量,通量值越高,对水体富营养化的潜在贡献值越大。图中正值代表“释放”,负值代表“沉降”。

2.清淤方案设计

(1)清淤范围与规模

综合底泥营养盐垂向分布与释放通量特征,确定坝前及库东为优先清淤区。清淤总面积7.45 km²(库

表1 于桥水库沉积物柱状采样淤泥厚度

区域	沉积厚度区间(cm)	平均淤泥厚度(cm)
坝前	30~60	45
州河老河道	45~70	54
库区北部	40~70	60
库区西部	50~60	57
库心	60~70	70
库区东部	45~65	57
库区南部	30~60	45

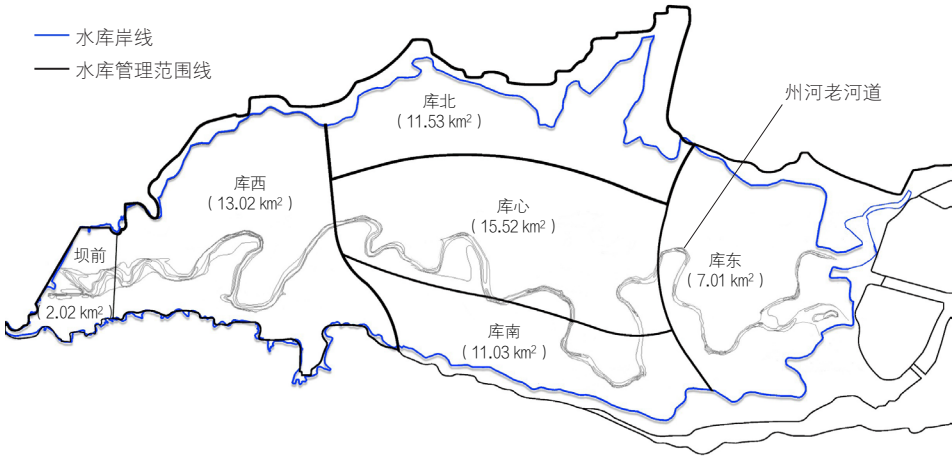


图1 于桥水库库区范围划分示意

东7.01 km²、坝前0.44 km²),清淤深度60 cm,总清淤量499万 m³(库东470万 m³、坝前29万 m³)。

(2)施工工艺与设备选型

采用水下带水清淤工艺,淤泥经封闭管道输送至临时堆场。库东淤泥送至河口湿地北库东南侧堆场,尾水经北东进水渠导入河口湿地净化后回库;坝前淤泥送至州河南岸堆场,尾水处理后排入州河。固化底泥大部分用于河口湿地隔埝防护与地形重塑,余量用于周边村镇资源化利用。工程平面示意图见图7。

水下清淤设备主要有绞吸式挖泥船、气动式清淤船、斗式挖泥船等(见表2)。清淤设备比选考虑底泥性质(淤泥及淤泥质黏土)与水深条件(均值4.6 m),选用环保型绞吸式挖泥船,可精确控制清淤深度在60~80 cm。绞刀头设防护罩,悬浮物扩散量降低约60%;施工区布设防污屏以控制二次污染。

3.底泥脱水与尾水处理

(1)脱水工艺选择

底泥脱水固化的方法主要有土工管袋法、机械脱水法、常规真空预压法、相变式真空预压法、传统自然

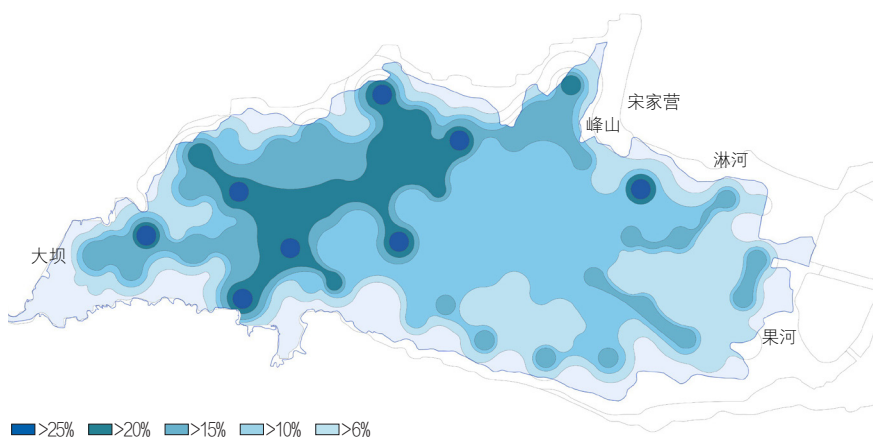


图2 于桥水库表层沉积物有机质水平分布

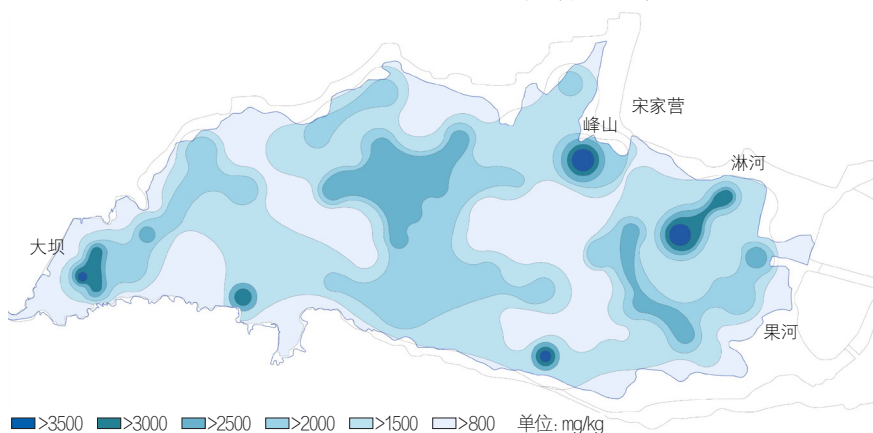


图3 于桥水库表层沉积物全氮水平分布

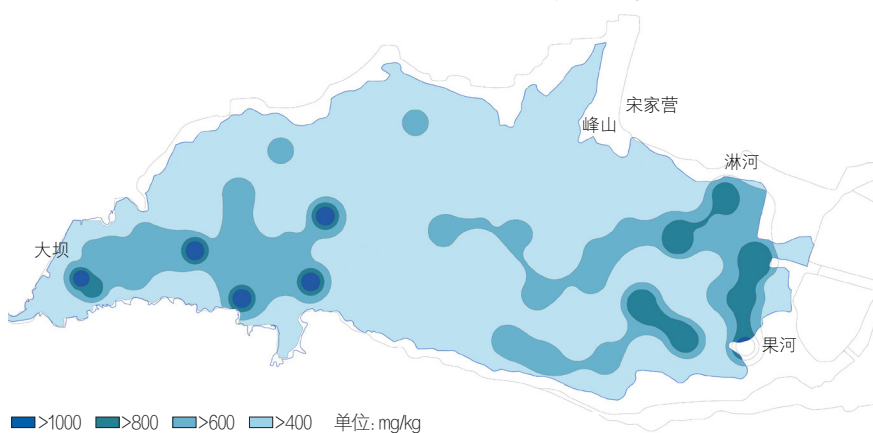


图4 于桥水库表层沉积物全磷水平分布

晾晒法等(见表3)。库东清淤量 $470\text{万}\text{m}^3$,选用相变式真空预压法,通过覆膜抽真空形成负压排水固结,适用于对工期和环境要求较高的项目,满足湿地缩短工程工期要求。坝前清淤量 $29\text{万}\text{m}^3$,选用占地小、脱水效率高的机械脱水法。

(2)尾水排放标准与处理工艺

国内目前尚无统一的清淤尾水排放标准,工程

实践中通常依据受纳水体的环境功能类别确定控制指标。参照我国典型生态清淤工程案例,尾水悬浮物(SS)控制值一般取 $150\sim 300\text{mg/L}$,且相关研究表明,悬浮物浓度与化学需氧量(COD)、TN、TP等水质指标之间存在较强的相关性。

为明确于桥水库清淤尾水的沉降特性,研究人员于2024年1月开展了室内混凝沉淀试验。取库区底泥配置泥水体积比为1:9的泥浆进行观测,结果表明:泥浆经自然沉降6h后,上清液COD可恢复至原水水平,24h后TN恢复至原水水平,但仅依靠自然沉降难以将悬浮物浓度降至较低区间(见表4)。在投加环保型絮凝剂并静置沉淀24h后,悬浮物浓度最低可降至 59mg/L ,COD去除率约为60%(即降至原水的40%),混凝实验结果见表5。

结合受纳水体的水质管理目标:于桥水库2024年考核目标为《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)Ⅲ类限值,州河水质控制目标为地表水Ⅳ类限值。同时考虑尾水排放路径差异,库东处理场尾水经北东进水渠排入河口南部湿地净化后再次进入于桥水库,其进水水质参照州河目标执行地表水Ⅳ类限值;坝前处理场尾水直接排入州河,执行地表水Ⅳ类限值。综合实验数据与受纳水体纳污能力,最终确定库东处理场尾水

SS控制值采用 150mg/L ,坝前处理场尾水SS控制值采用 200mg/L ;COD、氨氮、TP等指标均统一执行地表水Ⅳ类标准。

清淤尾水常用的物理化学处理工艺包括混凝沉淀、过滤及超磁分离净化技术等。采用“两级沉淀+澄清”工艺,一级沉淀池初步沉降,末端投加絮凝剂,经溢流进入二级沉淀池,最后经澄清池达标排放。末

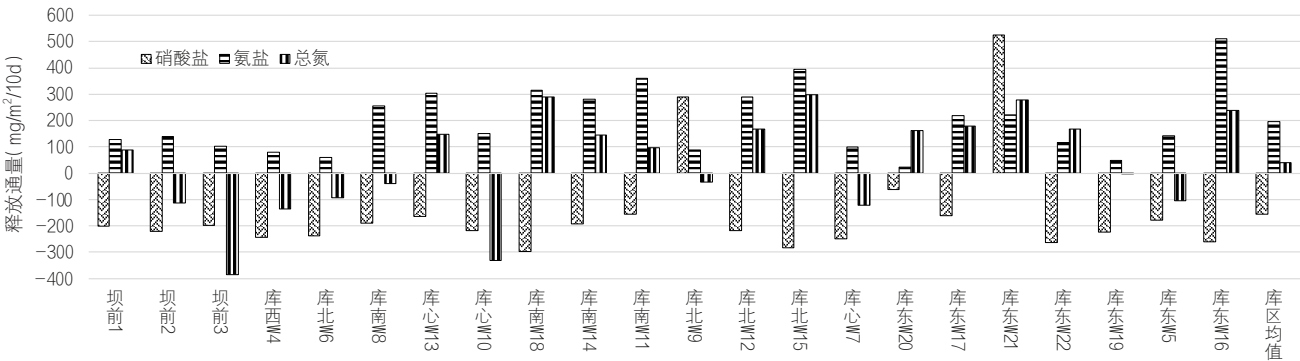


图5 于桥水库间隙水释放通量(氮)

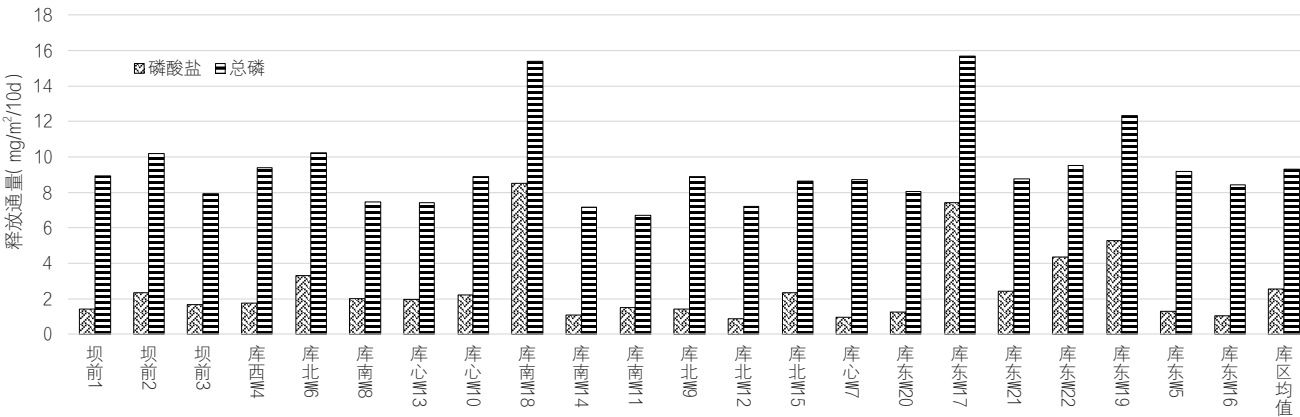


图6 于桥水库间隙水释放通量(磷)

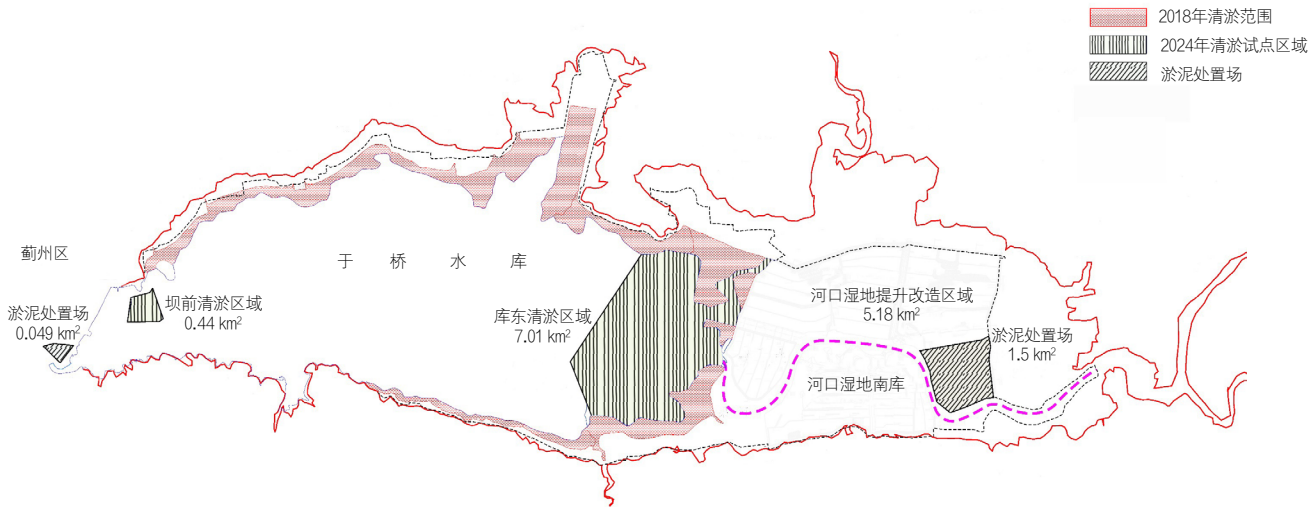


图7 工程平面示意

表2 清淤设备特点及适用性分析

设备	优势	劣势	适用环境
绞吸式挖泥船	集成度、精确度高	挖深较小，产量相对较低	水深3~40 m
气动式清淤船	挖深大，可挖掘大粒径砂石	不适合浅水开挖	水深大于40 m的较深水域
斗式挖泥船	能挖掘较硬密实的土质	存在漏泥风险，不适宜较薄的底泥层	底泥杂物较多的水域

表3 底泥脱水固结方案对比分析

方法	土工管袋法	机械脱水法	真空预压法		传统自然晾晒法
			常规	相变式	
施工可行性	需修建脱水场,占地大	占地小,可连续生产	受工期冗长限制	可大批量快速脱水	需大量场地晾晒
造价	60~70元/m³	80~100元/m³	30~40元/m³	40~50元/m³	10~20元/m³
对环境的影响	二次污染风险小	二次污染风险小	无害化处理	无害化处理	二次污染较严重
处理工期	90 d	工期短	150 d	90 d	工期长
处理效果	含水率60%	含水率60%	含水率60%	含水率55%	含水率受自然因素影响大

端配置磁混凝沉淀装置作为应急保障(见图8)。

4.底泥资源化利用

资源化利用是防止淤泥二次污染和浪费的有效方法,主要途径包括建材化、土地利用及能源化等,需结合淤泥性质与当地消纳条件确定。氮磷营养盐型底泥优先回归土地,重金属污染底泥宜建材化利用。本工程底泥仅氮磷偏高,75%的固化土用于湿地提升及地形改造,其余用于矿山修复、农田建设及坑塘填筑等。

三、总结与展望

1.经验总结

于桥水库清淤试点工程基于底泥调查确定清淤范围与深度,以系统思维统筹清淤、输送、脱水、尾水处理与资源化利用全链条,形成了“精准识别—绿色疏浚—高效脱水—尾水净化—资源回用”的技术体系。

①精准识别方面,通过布设柱状样与间隙水分析点,揭示营养盐在10~60 cm深度富集、60 cm以下回落至背景水平的垂向分布规律,识别出坝前及入库口为磷释放重点区,形成“垂

向分层定深度、水平分区定范围、释放通量定优先级”的三维识别方法,为科学判定清淤方案提供数据支撑。

②方案设计与绿色疏浚方面,清淤范围、深度与工程量均基于监测数据确定,实现从经验判断向数据决策的转变。针对淤泥质黏土底质与4.6 m平均水深,选用绞吸式挖泥船,绞刀头配置防护罩,降低悬浮物扩散量约60%,施工区布设防污屏形成物理

表4 沉降实验检测指标

单位:mg/L

序号	水样	COD	SS	TN	TP	氨氮	备注
1	原水	30	33	5.29	—	—	未投加絮凝剂
2	沉降1 h	49	—	5.41	—	—	
3	沉降6 h	29	169	6.41	—	—	
4	沉降12 h	30	—	—	—	—	
5	沉降24 h	—	112	4.90	—	—	

注:“—”表示低于检出限。

表5 混凝实验检测指标

单位:mg/L

序号	絮凝剂浓度	COD	SS	TN	TP	氨氮	备注
1	0	30	112	4.90	—	—	投加不同浓度絮凝剂后,水样沉降24 h
2	50	25.6	256	5.18	—	—	
3	100	18.4	85	4.79	—	—	
4	150	25.2	59	5.56	—	—	
5	200	26	63	4.79	—	—	
6	300	29.2	93	4.70	—	—	

注:“—”表示低于检出限。

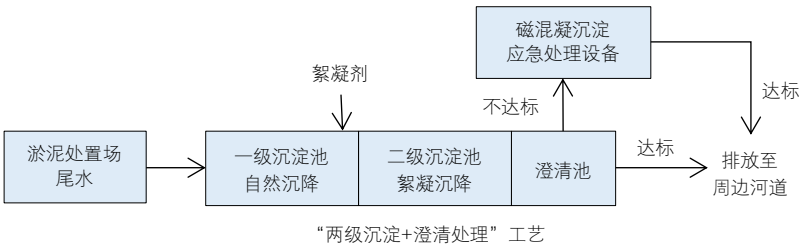


图8 尾水处理工艺示意

隔离,在保障工程效率的同时最大限度降低生态扰动。淤泥采用全封闭管道输送,临时堆场选址兼顾输送距离与施工结束后生态恢复可行性。

③脱水与尾水处理方面,库东大规模清淤采用相变式真空预压法,坝前小规模清淤采用机械脱水法,实行“一区一策”;尾水经“两级沉淀+澄清”工艺处理,辅以磁混凝沉淀应急装置,排放标准依照受纳水体水

质目标确定,兼顾日常运行稳定与突发工况应对。

④资源化利用方面,将淤泥利用纳入工程总体设计,大部分就近用于库区生态修复,余量对接周边需求,推动清淤副产物从处置向增值转型。上述技术体系可为我国北方类似浅水型湖库的底泥生态清淤提供技术参考。

2. 展望

当前水库生态清淤体系距全链条智慧化管控目标仍有较大差距,未来需在制度、管理、技术与理论层面协同突破。

①制度层面,清淤底泥资源化利用的国家、行业、地方三级标准框架已初步成形,未来应推动团体标准向行业及国家标准层级转化,针对不同底泥性质与利用场景完善分类细则,打通检测分级、脱水固化到产品入市的标准衔接堵点,为底泥资源化、产品市场化提供制度保障,推动生态效益向经济价值转化。

②管理层面,当前在跨部门协同、资金保障、市场化运营及生态效益追踪等方面仍存在短板。未来应推动水利、生态环境、自然资源等部门建立联合审批与协同监管机制,探索多元化投融资与专业化运营路径,构建清淤后生态恢复的长期追踪评估机制,推动管理从分段监管向全过程闭环管控转型。

③技术层面,清淤作业高度依赖人工经验,尚未实现数据驱动的智能决策。未来需重点突破底泥分层识别与浊度反馈的无人化精准清淤、基于水质预测的尾水智能调控以及淤泥组分数据库驱动的资源化智能匹配等关键技术,推动清淤工程从机械化执行向智能化决策跃升。

④理论层面,需深化水文-生态-沉积物耦合机理研究,从定性识别转向定量阈值判定。重点研究不同条件下底泥营养盐释放通量变化规律,量化内源释放对富营养化的实际贡献,提出清淤启动的淤泥营养盐含量与释放通量参考阈值,为精准分区与清淤强度划定提供理论支撑。

参考文献:

- [1] 吴桐,吴换营.天津市于桥水库河口湿地设计[J].湿地科学与管理,2025,21(2):59-65.
- [2] 崔文杰,周滨,付绪金,等.于桥水库沉积物中氮磷分布及其释放特征[J].给水排水,2024,60(S2):83-90+96.
- [3] 傅建文,赵一莎.于桥水库水生态环境现状分析及对策建议[J].海河水利,2024(6):18-21+33.
- [4] 刘晓玲,徐瑶瑶,宋晨,等.城市黑臭水体治理技术及措施分析[J].环境工程学报,2019,13(3):519-529.
- [5] 范成新.湖泊沉积物-水界面研究进展与展望[J].湖泊科学,2019,31(5):1191-1218.
- [6] 杨赵.湖泊沉积物中氮磷源-汇现象影响因素研究进展[J].环境科学导刊,2017,36(S1):16-19+29.
- [7] 严政,姜艳,周鹏宇,等.城市湖泊底泥污染空间异质性与分区清淤深度优化研究[J].环境生态学,2025,7(7):173-178.
- [8] 李静,唐雪平,庄马展,等.厦门杏林湾水库底泥有机质和营养盐的分布特征与来源及污染评价[J].华侨大学学报(自然科学版),2024,45(6):730-739.
- [9] 侯晓辉,曹昕熹,刁艳芳,等.典型城市湖泊沉积物污染特征与清淤深度[J].环境工程学报,2023,17(12):3890-3896.
- [10] 张枫,桂梓玲.武汉市东湖底泥污染风险评估及精细化清淤研究[J].人民长江,2024,55(6):45-52.
- [11] 古倩倩,李杨,蔡健霞,等.湖泊底泥藻积层特性及其内源污染风险影响研究[J].中国环境科学,2025,45(12):6659-6670.
- [12] Zhou Bin, Fu Xujin, Wu Ben, et al. Phosphorus release from sediments in a raw water reservoir with reduced allochthonous input[J]. Water, 2021, 13(14):1983.
- [13] Shou Chenyang, Yue Fujun, Zhou Bin, et al. Chronic increasing nitrogen and endogenous phosphorus release from sediment threaten to the water quality in a semi-humid region reservoir[J]. The Science of the Total Environment, 2024, 931:172924.
- [14] 王巍翰,张祯,魏佳豪,等.洪泽湖沉积物营养盐分布、污染评价与释放风险[J/OL].中国环境科学,2026-03-25. <https://doi.org/10.19674/j.cnki.issn1000-6923.20260324.005>.
- [15] 吴莹.湖泊底泥环保疏浚技术研究展望[J].低碳世界,2021,11(4):27-28.
- [16] 莫孝翠,杨开,袁德玉.湖泊内源污染治理中的环保疏浚浅析[J].人民长江,2003(12):47-49.
- [17] Liu Mingyan, Yang Yan, Shao Zhi, et al. Effects of dredging on nitrogen and phosphorus storage patterns and retention mechanisms in column core sediments in the Caohai Region of Dianchi Lake[J]. Water, 2024, 16, 449: w16030449.
- [18] 杨盼,杨春晖,马鑫雨,等.巢湖南淝河口底泥

- 污染特征及疏浚决策[J].环境科学, 2021, 42(2): 712-722.
- [19] 黄俊杰, 陈子明, 黄成, 等. 巢湖生态清淤及湖滨湿地试点工程设计[J].湿地科学与管理, 2025, 21(5): 96-97.
- [20] 李国英. 进一步全面深化水利改革 为推动水利高质量发展、保障我国水安全作出新的贡献[J].中国水利, 2025(2):1-9.
- [21] 李国英. 以中国式现代化全面推进强国建设、民族复兴伟业提供有力的水安全保障: 在2024年全国水利工作会议上的讲话[J].中国水利, 2024(2): 1-9.
- [22] 吴强, 崔晨甲, 刘汗. 科学推进湖库生态清淤的几点建议[J].水利发展研究, 2025, 25(10):1-4+11.
- [23] 周王敏, 李晓萌, 谭皓月, 等. 三峡水库生态清淤技术初探[J].长江科学院院报, 2025, 42(7):60-68.
- [24] 冯显露. 生态清淤技术在湖库治理中的应用综述[J].泥沙研究, 2025, 50(5):73-80.
- [25] 陆海明, 唐云清, 唐文忠, 等. 工程案例研究在河湖库环保清淤决策中的重要性(代序言)[J].环境工程学报, 2023, 17(12):3843-3848.
- [26] 朱伟, 侯豪, 孙继鹏, 等. 河湖库淤积治理中底泥清淤的内涵与发展方向[J].水利学报, 2024, 55(4): 456-467.
- [27] 朱伟, 王意超, 朱瑜星, 等. 河湖库清淤工程底泥评价的研究进展[J].水利学报, 2025, 56(8):1084-1094.
- [28] 于桥水库环境现状诊断及其对上游调水的响应研究[R].天津市水利科学研究院, 2017.
- [29] 于桥水库清淤试点工程初步设计报告[R].天津市水务规划勘测设计有限公司, 2024.
- [30] 赵娜, 陈昌. 某水库清淤工程清淤方案浅析[J].陕西水利, 2025(8):169-170+173.
- [31] 石稳民, 黄文海, 罗金学, 等. 基于生态修复的河湖环保清淤关键问题研究[J].环境科学与技术, 2019, 42(S2):125-131.
- [32] 于桥水库氮磷营养盐底泥原位释放模拟试验[R].天津大学水力学所, 2024.
- [33] 陈永喜, 彭瑜, 陈健. 环保清淤及淤泥处理实用技术方案研究[J].水资源开发与管理, 2017(4):23-26.
- [34] 丁瑞, 范子武, 王晓宇, 等. 太湖生态清淤及底泥资源化利用建议[J].江苏水利, 2024(11):16-20+25.
- [35] Zhong Xiao, Bo Hou, Zhe Chang, et al. The properties of cement stabilized dredged sludge solidifying in seawater and its application in the protection of subsea pipelines[J].Applied Ocean Research, 2024, 153:104264.
- [36] 唐彤芝, 吴志强, 徐锴, 等. 河湖底泥治理科技创新研究与产业化发展[J].水利水运工程学报, 2025(5): 42-53.

责任编辑 刘磊宁