

河湖生态清淤工程研究

——以杏林湾生态环境整治提升工程为例

侯捷

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要: 针对我国快速城市化进程中,因污水排放、渗滤液渗漏及下垫面硬化等导致的水体复合污染及自净能力下降等严峻生态问题,以一典型水环境治理工程为案例,综合采用源头控制与末端治理相结合的工程措施,寻求提升城市水生态环境质量、推动可持续发展的有效路径。实践表明,以“控源截污-生态修复-水力调控”为核心的系统性工程治理模式,能够有效应对城市水环境的复合性污染与生态退化问题,可为同类型城市的水生态修复工程提供切实可行的技术借鉴与实例参考。

关键词: 水生态整治;生态清淤;底泥消纳;底泥脱水

中图分类号: TU998.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0311-05

Research on Ecological Dredging in Rivers and Lakes: A Case Study of the Xinglin Bay Ecological Environment Restoration and Enhancement Project

HOU Jie

[[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China]

Abstract: Aiming at the severe ecological problems such as the composite pollution of water bodies and the decline in self-purification capacity caused by sewage discharge, leachate leakage and the hardening of the underlying surface during the rapid urbanization process in China, taking a typical water environment treatment project as an example, the engineering measures combining the source control and the end treatment are comprehensively taken to seek the effective paths to enhance the urban aquatic ecological environment quality and promote the sustainable development. The practice has demonstrated that the systematic engineering governance model centered on “source control and sewage interception - ecological restoration - hydraulic regulation” can effectively address the complex pollution and ecological degradation in urban water environments, which can provide the feasible technical references and case support for similar urban water ecological restoration projects.

Keywords: water ecological restoration; ecological dredging; sediment disposal; sediment dewatering

0 引言

自中共十八大将生态文明建设提升至突出战略位置以来,生态文明便深刻融入党执政理念与国家发展方略的顶层设计之中,其战略地位与基础性作用日益彰显。

在此战略指引下,国家层面相继出台关键政策以推动落实。2015年4月,国务院发布《水污染防治行动计划》,作为一项纲领性文件,明确要求以生态文明理念为统领,以水环境质量改善为核心目标。该计划以“节水优先、空间均衡、系统治理、两手发

力”为根本遵循,坚持“安全、清洁、健康”的导向,注重从源头加强管控,统筹水陆关系并兼顾河流与海洋,强调根据各流域和区域的具体条件,实施分区、分类、分步实施的精准治理策略,整体协同推进水污染治理、水生态修复和水资源管理。此后,相关政策体系不断拓展深化。

2018年6月,《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护 坚决打好污染防治攻坚战的意见》正式出台,进一步将战略重点聚焦关键领域,明确提出“坚决打赢蓝天保卫战、着力打好碧水保卫战、扎实推进净土保卫战”三大核心任务,意味着我国生态环境保护工作迈入了集中攻坚的新时期^[1]。

杏林湾坐落于厦门市集美新城的核心地带,水域涵盖中心湖区、九天湖,以及园博苑内的多处岛

收稿日期: 2025-10-28

作者简介: 侯捷(1994—),男,硕士,工程师,从事水工设计工作。

屿,总面积约6 km²。作为一处重要的水利设施,该区域不仅发挥着防洪排涝的功能,还具有显著的生态景观价值。近年来,受来自后溪上游及沿岸排放的生活与养殖污染影响,该海湾的生物栖息地环境质量显著下降,生态完整性遭到严重破坏^[2]。

为改善杏林湾水质,市、区两级政府高度重视,遵循标本兼治、综合治理的原则,通过一系列综合治理手段,逐步破解环杏林湾水体治理难题,包括全面溯源、内源治理等多重策略。

通过综合治理,“十三五”期间,杏林湾湖泊水质有所改善,但仍有部分考核断面水质不达标,为V类甚至劣V类。为全面消除劣V类水体,持续提升水生态环境,助力更高水平建设高素质高颜值现代化国际化城市,深化落实《厦门市全面消除劣V类水体三年行动方案》文件要求,厦门市集美生态环境局、厦门市集美区农业农村局、厦门市集美区市政园林局联合制定《厦门市集美区全面消除劣V类水体三年行动方案》,提出“2025年全区主要地表水体均稳定消除劣V类,使流域水环境质量得到明显改善,生态功能得到修复。

杏林湾环境整治工程的关键任务包括:对高污染底泥实施环保清淤,以控制内源污染;同步推进底泥原位强化修复与生态修复,净化水质并恢复生态系统。此举旨在确保,即便入湾外源水已达地表V类标准,湾内水质也不会因内源释放而恶化,从而稳定维持在地表V类水平。项目范围区位如图1所示。

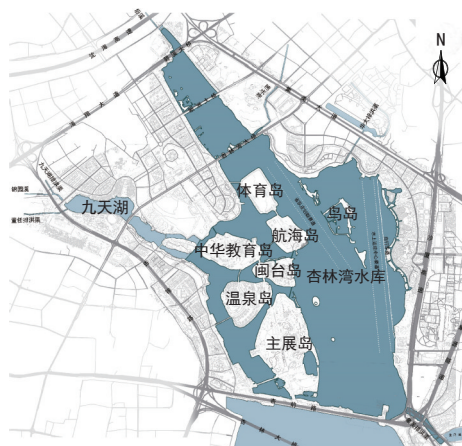


图1 工程实施范围示意图

1 生态疏浚设计

1.1 疏浚原则

根据工程区污染治理要求,确定底泥疏浚与修复范围的主要原则与判别标准如下:

(1)基于底泥总氮(TN)空间插值分析结果,将有机污染指数(OI)不低于0.2(中、重度污染)且TN含量不低于1 000 mg/kg的区域,划定为初步疏浚范围。

(2)依据总磷(TP)空间插值分析结果,将磷污染指数(Pi)不低于1(中、重度污染)且TP含量不低于600 mg/kg的区域,纳入疏浚范围。

(3)从生态安全角度考虑,将重金属生态风险指数(RI)不低于300,或汞(Hg)单因子生态风险指数(Er)不低于80(属于较重及以上生态风险水平)的区域,一并列为需疏浚区。

(4)在工程实施中,应尽量彻底清除受污染底泥层,最大限度保留未受污染的底泥结构,减轻对正常底泥层的扰动。

(5)对底泥的综合评价显示,其有机污染与磷污染均属轻度,但TN不低于1 000 mg/kg,同时TP处于400~600 mg/kg之间的区域,考虑采用底泥原位修复技术进行处理。

1.2 疏浚范围确定

基于杏林湾内46个探测点位的污染物浓度数据,本研究对工程区域底泥中的总氮(TN)与总磷(TP)进行了空间插值分析,并据此绘制了TN与TP的污染分布等值线图(见图2)。

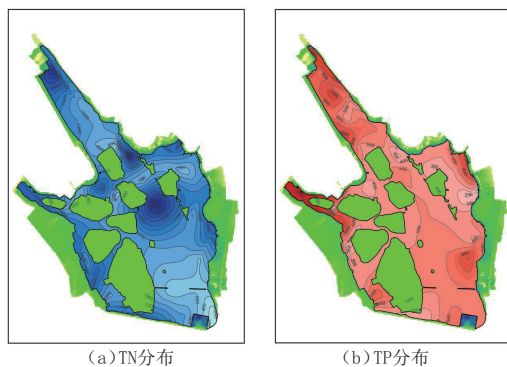


图2 杏林湾底泥表层 TN/TP 空间插值分析

疏浚范围的划定依据以下多重标准综合确定:

(1)有机污染指标。将有机指数(OI)≥0.2(即重度与中度污染等级)且底泥TN浓度不低于1 000 mg/kg的区域,划定为初步疏浚范围。有机物污染分布如图3(a)所示。

(2)磷污染指标。将磷污染指数(Pi)≥1(即重度与中度污染等级)且底泥TP浓度不低于600 mg/kg的区域,纳入疏浚范围。磷污染分布如图3(b)所示。

(3)重金属污染指标。将重金属综合生态风险指数(RI)≥300,或汞(Hg)的单因子生态风险指数

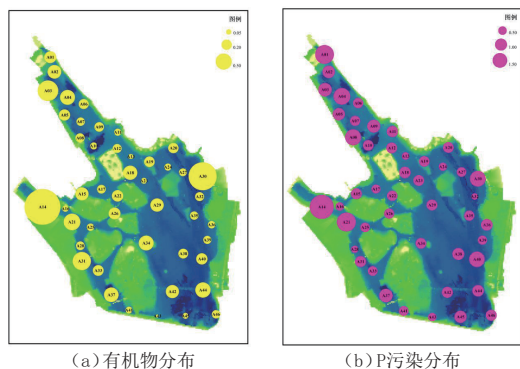


图3 杏林湾有机物和P污染分布

(Er) ≥ 80 (对应较重及严重生态风险等级)的区域,同样确定为需实施疏浚的重点区域。重金属污染分布如图4所示。

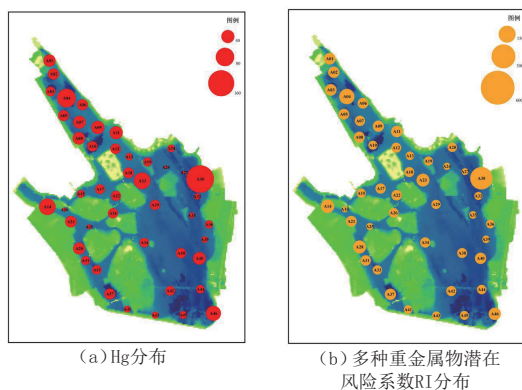


图4 杏林湾Hg及潜在生态风险系数RI分布

基于前述分析,将污染区域划分为两级:对重度和中度污染区进行彻底清淤;对有机指数属轻度但 $TN\geq 1\,000\text{ mg/kg}$ 、 TP 在 $400\sim 600\text{ mg/kg}$ 的区域,采用底泥原位修复法进行控污,并初步明确了清淤范围。

1.3 疏浚深度确定

(1)根据《湖泊河流环保疏浚技术指南》,工程区水体达到相应地表水质标准高氮磷污染底泥疏浚控制值采用吸附-解吸平衡法。不同湖泊河流高氮磷底泥环保疏浚控制值根据实际有所不同,本工程参考已经建立了太湖沉积物中氨氮、总氮与吸附-解吸平衡点的线性回归方程,结合地表水质标准来建立沉积物的氨氮、总氮及总磷的分类标准。其中, TP 浓度超过 625 mg/kg 时,上覆水中 TP 浓度为劣V类。太湖高氮磷底泥环保疏浚范围控制值为 $TN\geq 1\,627\text{ mg/kg}$, $TP\geq 625\text{ mg/kg}$ ^[3]。

(2)按照《城市河湖环保清淤及底泥处理处置技术规程》,工程区域营养盐的清淤控制值宜采用中度污染等级所对应的氮磷指标, $TN\geq 1\,000\text{ mg/kg}$, $TP\geq 420\text{ mg/kg}$ 为氮磷底泥环保疏浚范围控制值^[4]。

(3)总磷基准阈值为 $454.51\sim 459.03\text{ mg/kg}$,结合

加拿大省环境能源部颁发确定了沉积物中 TN 、 TP 含量的限值,标准底泥沉积物中具有最低级别生态效应的 TN 和 TP 含量分别为 550 mg/kg 和 600 mg/kg (沉积物已受污染,但多数底栖生物可以承受)。

结合上述分析,杏林湾疏浚具体疏浚深度的确定方法如下:

根据污染底泥的垂直浓度分布特征,可科学确定疏浚深度。本研究选取 TN 与 TP 作为代表性指标,通过柱状样分析其在垂向的分布规律。具体疏浚深度确定原则如下:

(1)依据拐点法对底泥污染物垂向分布特征的解析,工程以总氮(TN) $\geq 1\,000\text{ mg/kg}$ 和总磷(TP) $\geq 600\text{ mg/kg}$ 为控制值,识别并划定需清淤的中度与重度污染层,同时要求清淤后的泥水界面污染物浓度低于该控制值^[5]。

(2)在氮磷污染与重金属污染共存区域,疏浚深度应综合判定,取两者所需疏浚深度中的较大值,作为复合污染区的最终清淤深度。重金属污染判定标准为:生态风险指数(RI) ≥ 300 ,或汞单因子生态风险指数(Er) ≥ 80 ,对应较重及以上生态风险水平。

(3)结合杏林湾水质主要超标因子及疏浚后底泥处置的现实约束,本次疏浚以总磷污染控制为主要目标,确定具体清淤深度。对于仅表层 $TN\geq 1\,000\text{ mg/kg}$ 、 TP 处于 $400\sim 600\text{ mg/kg}$ 的区域,采用原位生态修复技术进行治理。

此外,考虑现场施工条件与清淤设备的作业精度,对部分施工受限区域及计划疏浚深度不足 20 cm 的区段,也采用原位修复方式进行处理。

2 疏浚底泥处置

2.1 底泥消纳方案

本工程疏浚底泥推荐采用构建鸟类栖息地、底泥原位修复、体育岛加高等方式进行湾区内就地消纳。方案综合采用“环保绞吸船清淤+机械板框脱水”工艺及“绞吸吹填+真空预压”工艺实施。其中:底泥原位修复及体育岛加高采用环保绞吸船清淤,底泥通过管道全部输送至体育岛进行机械板框脱水处理,对产出的泥饼进行处置消纳,并进行余水处理;鸟类栖息地构建采用绞吸吹填及地基处理形成栖息地整体形态后,结合体育岛脱水干化泥进行表层回填及地形塑造。底泥消纳布置图如图5所示。

工程疏浚总方量约 313.3万 m^3 ,其中鸟类栖息地



图5 底泥处置总平面布置

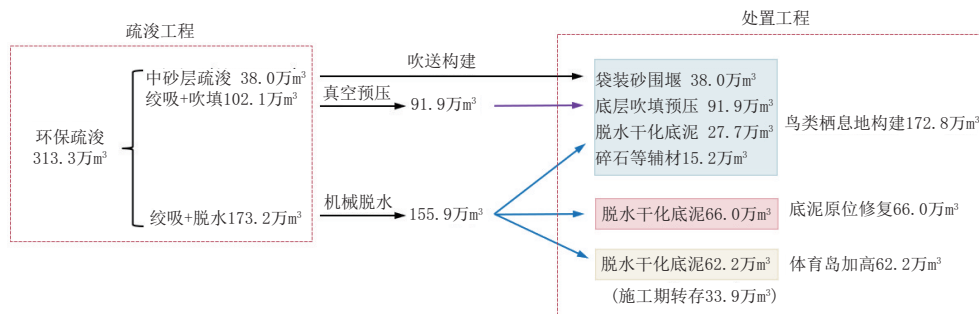


图6 总体工艺布置流程

(1) 自然脱水技术

清淤底泥的自然脱水技术是一类依靠太阳能、风能等自然动力,通过物理过程实现泥水分离的经济型处置方法。该技术主要将疏浚产生的流态底泥输送至预设的余水排放设施或专用堆场,通过重力作用使部分自由水自然析出并排出。随后,在自然蒸发与风力的协同作用下,泥浆中的毛细水与表面吸附水被持续去除,底泥体积逐渐收缩,固结强度随之提升。此类技术具有能耗低、操作简便、维护成本低等优势,尤其适用于处置规模较大、工期要求相对宽裕且场址条件允许的工程场景。然而,脱水效率受当地气候条件制约较为明显,在降雨频繁或低温潮湿环境中脱水周期会相应延长。

(2) 机械脱水技术

清淤底泥的机械脱水技术是运用机械设备对泥浆进行强制固液分离的高效处理方法。该技术首先对抽取的流态底泥投加化学调理剂进行调质,以破坏其胶体结构、改善脱水性能;继而通过离心脱水、板框压滤或带式压滤等机械方式,在短时间内施加离心力、压力或剪切力,使泥浆中的间隙水与结合水快速分离。经处理后,底泥可形成含水率显著降低的固态泥饼,体积大幅缩减,便于后续运输与资源化

袋装砂围堰 38.0 万 m^3 采用疏浚中砂层直接充填;鸟类栖息地主体区域直接吹填 102.1 万 m^3 底泥;剩余 173.2 万 m^3 底泥通过岸上脱水减容后方量约 155.9 万 m^3 。其中:鸟类栖息地构建利用脱水淤泥约 27.7 万 m^3 ,原位回填修复利用脱水淤泥约 66.0 万 m^3 ,体育岛加高利用脱水淤泥约 62.2 万 m^3 。总体工艺流程及方量平衡具体如图 6 所示。

2.2 底泥脱水设计

底泥处置工艺的选择受疏浚泥浆含水率及脱水场地等因素影响,目前常用的底泥处置工艺包括自然晾晒、机械法、真空预压法、化学搅拌固化法等^[6-7]。

利用。此类技术具有处理效率高、占地少、脱水效果稳定且不受气候条件影响等突出优点,尤其适用于场地受限、工期紧张或对脱水产物含水率有严格要求的治理项目,但其设备投资与运行能耗相对较高,并需妥善处理脱水过程中产生的滤液。机械脱水示意图如图 7、图 8 所示^[8]。

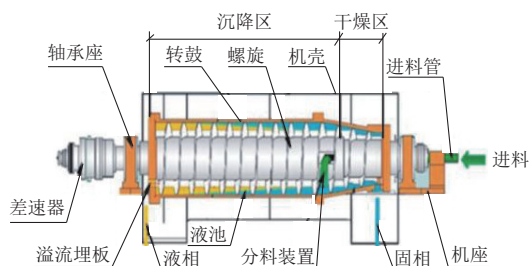


图7 沉降式离心机结构及设备示意图



图8 板框压滤机示意图

(3)化学搅拌固化技术

化学固化法是当前淤泥处理领域中广泛应用且备受重视的一种方法。该技术通过物理-化学作用将淤泥颗粒胶结于致密的惰性基材内,在此过程中所添加的惰性材料称为固化剂,其与淤泥反应后生成的产物即为固化体^[9]。

固化剂通常兼具稳定化作用,能够将淤泥中的有毒有害污染物转化为低溶解性、低迁移性及低毒性形态。通过水化反应等一系列复杂物理-化学过程,污染物被有效固定在固化形成的网链或晶格结构内,使原淤泥转变为类似土壤或具有较高胶结强度的固体物质。此类固化体具备良好的工程性能,可用于就地填埋或作为建筑材料资源化利用^[10]。

在应用范围上,固化处理技术不仅适用于含重金属、油类、电镀及印染废水污泥等危险废物的处理,也可用于城市污水处理厂污泥及河湖疏浚底泥的固化处置,展现出较强的适应性与实用性^[11]。

(4)脱水工艺比选

上述几种淤泥脱水工艺对比情况如表 1 所示^[12]。

根据上述初步比选,结合本工程底泥处置去向,推荐采用机械脱水法+真空预压脱水法作为本工程

表 1 底泥脱水工艺对比			
比较项目	机械脱水法	自然脱水干燥	直接搅拌固结法
技术原理	机械压力挤压使淤泥脱水	在自然条件下进行晾晒风干处理	直接加入添加剂进行“增量处理”,搅拌固结后脱水
泥饼性质	块状固态泥饼,有一定强度	高含水淤泥,流动状态,无法后续利用	流动态或半固态,强度低,增长慢,需长时间养护
工期	较短	很长	较长
优势	泥饼含水率较低,无二次污染,产生占地面积较小,受天气影响小	工程投资低,处理量大	工程实施简单,管理方便
不足	配套设备多,设备投资较高	泥饼含水率高,周期长,占地多,受天气影响大,存在臭气和淤泥污染	泥饼含水率高(70%~80%),施工场地大,二次污染严重,现场环境差,受天气条件影响大
综合评价	技术成熟稳定,场地占用少,受天气影响小,泥饼便于后续资源化	直接处理成本最低,但场地占用大、环境影响恶劣,后续成本高	技术成熟稳定,泥饼增量,处理效果差,场地占用大,材料添加量较大

脱水方式。

目前,国内机械脱水利用较多的主要为离心脱水方式和压滤脱水方式。这两种脱水方式技术较为成熟,实施方便可靠。脱水机械具体技术参数及优缺点对比如表 2 所示。

表 2 机械脱水设备对比					
比较项目	板框压滤机	带式压滤机	离心机	螺杆式压滤机	
工作原理	由滤板排列组成滤室,在进料过程中进料设备产生的压力进行滤饼压榨脱水,滤液通过滤板管道排出	内外两条环状滤带在驱动辊带动下,经过初压脱水,及对夹挤压高压区,大量水分被缓缓地强力压出,形成压榨滤饼	利用内胆高速旋转产生的离心力使物料快速脱去水分,形成脱水泥饼	螺旋轴转动时,动环与定环相对移动,水从叠片间隙中滤出,随着螺旋轴螺距逐渐变小,螺旋腔内压增强,水分受挤压不断排出,实现污泥连续脱水	
设备处理能力	批次时间短,处理量大,泥饼产量 11 ~ 12 t/h	连续处理,处理量较大,泥饼产量 4.5 ~ 6.5 t/h	连续处理,处理量大,泥饼产量 8 ~ 10 t/h	连续处理,处理量小,泥饼产量 1.5 ~ 2 t/h	
技术优点	批次时间短,泥饼含水率低,成块成型,处理能力大,砂资源化利用,底泥减容多,设备占地较小	设备能耗低,安装施工简单,设备占地较小,设备投资低	安装施工简单,泥饼含水率低,配套设备少,处理量大,设备占地小	设备功率小,设备占地小,可车载移动式,设备投资低	
不足	设备投资较高,一般宜配置洗砂设备	泥饼含固量较低,反冲洗水量大,设备运行噪声大	设备投资较高,噪声较大,出泥松散不成型,含砂量高,设备故障率高,设备维修复杂,维修成本高	处理量小,泥饼含水率高	

结合本工程底泥处置去向,带式压滤机脱水后的含水率偏高,无法满足构建鸟类栖息区域机械上部行车条件,不利于鸟类栖息地的构建;离心机设备投资较高,设备故障率高,设备维修复杂,维修成本高;螺杆式压滤机脱水后的含水率偏高,无法满足构建鸟类栖息区域机械上部行车条件,同时处理量较小。综合上述比选,板框压滤机具备泥饼含水

率低、处置能力大、底泥减容多、砂资源分离利用等诸多适宜本项目顺利推进实施的优势。因此,采用机械板框脱水法作为本工程底泥脱水方案^[13-14]。

3 结 语

本文结合实际工程案例,分析了河湖生态清淤工程的典型做法,包括生态疏浚、底泥处置、生态修

(下转第 346 页)