



文章栏目：河湖库环保清淤工程关键技术和典型案例专题

DOI 10.12030/j.cjee.202312070

中图分类号 X524

文献标识码 A

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. [LU Haiming, TANG Yunqing, TANG Wenzhong, et al. The importance of engineering case studies in decision making for environmental dredging[J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2023, 17(12): 3843-3848.]

工程案例研究在河湖库环保清淤决策中的重要性 (代序言)

陆海明^{1,✉}, 唐云清¹, 唐文忠², 尹洪斌³, 张洪²

1. 水利部交通运输部国家能源局南京水利科学研究院, 南京 210029; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 环境水质学国家重点实验室, 北京 100085; 3. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008

摘要 环保清淤是清除河湖库淤积物、削减内源污染负荷、修复受损水生态系统的重要工程措施, 从 20 世纪 90 年代引入我国以来, 已经成为河湖库治理的主要技术手段之一。环保清淤工程技术要求高、投资总额大、涉及方面多, 有必要基于已经实施工程案例的启示开展系统性总结分析, 进一步提高我国环保清淤工程决策的前瞻性和科学性。本文通过对现有工程案例前期论证、实施过程监测、效果评价、底泥处理处置方法及资源化利用等方面系统总结, 讨论了当今具有挑战性的环保清淤决策科技问题, 提出了未来工程案例研究应包括的主要发展方向。

关键词 环保清淤; 工程案例; 决策研究; 研究方向

河流、湖泊及人工水库 (以下简称“河湖库”) 是地表主要淡水资源存储库, 具有水资源/水产品供给、防洪减灾、生态环境保护等多种功能, 在国民社会经济中发挥了不可替代的重要作用。根据第一次全国水利普查资料^[1], 我国现有流域面积 50 km² 以上的河流 45 203 条, 常年水面面积 1 km² 及以上的天然湖泊 2 865 个, 各类已建成水库 9.80×10⁴ 多座, 总库容 9 323.12×10⁸ m³。部分河湖库因泥沙淤积物逐年增加, 影响了其正常生态服务功能发挥^[2-3]。有研究表明, 我国水库平均淤损率为 11.27%, 水库淤损率随水库运行时间增加整体呈上升趋势^[4]。20 世纪 80 年代以来, 受未经达标处理的工业、生活及采矿业污水排放、交通建设与农业农村等多个方面/面源污染影响, 我国部分城市以及生产生活影响强烈的区域内河湖库底泥中营养盐、重金属或新污染物累积明显, 并严重制约着河湖库水环境质量改善^[5-9]。采用工程机械将淤积物或受污染底泥移除是解决河湖库底泥淤积和削减水体负荷的主要方法。

1998 年 3 月, 我国滇池草海率先开展了污染底泥疏浚工程^[10]。截至目前, 环保清淤 (环保疏浚、生态清淤、生态疏浚) 工程已经在滇池、太湖、巢湖、西湖等 100 多个湖库得到广泛应用, 相应的工程理念、工艺工法、设备装备、监测评估等领域也得到快速发展^[11-16]。与国内外开展的沉积物污染调查、监测检测、沉积物-水界面过程等基础研究相比, 基于已经实施工程案例的经验启示开展系统性的总结研究报道较少, 特别是回溯性研究与跟踪性研究更少。我国的工程疏浚和环保清淤规模均在世界前列, 疏浚市场营业额在全球疏浚市场中所占比例已超过三分之一, 有条件、也理应在工程理论和工程实践中有所贡献^[17]。随着全国各地生态河湖建设的深入推进, 河湖长制的全面推行, 幸福河湖建设过程中需要更加先进、成熟、可靠的河湖库治理技术; 环保清淤工程实施后水环境改善效果不佳及其对底部生态系统的破坏是长期以来对此类工程争议的焦点问题^[12, 18]。因此, 有必要及时开展已经实施工程案例回顾性研究。

收稿日期: 2023-12-14; 录用日期: 2024-01-03

基金项目: 广西重点研发计划资助项目 (AB22035075)

第一作者: 陆海明 (1978—), 男, 博士, 正高级工程师; ✉通信作者

1 环保清淤工程前期论证

沉积物营养物质以及有毒有害污染物赋存状态及其对河流、湖泊、水库的生态环境影响是实施环保清淤工程的理论基础,是回答是否需要实施环保清淤工程的基础科学问题。国内外学者在湖泊沉积物污染调查和风险评价,沉积物环境过程与效应,沉积物样品采集、监测和过程模拟技术等方面开展了大量研究^[5,6,13,19,20],为环保清淤工程实施范围和清淤深度确定等提供科学依据。例如,LIU 等人通过沉积物-水界面研究,比较了清淤深度控制藻源性湖泛爆发效果,结果表明清淤深度为 22.5 cm 时控制引起水体黑臭的 H_2S 浓度的效果最好^[21]。白洋淀清淤工程示范区基于沉积物中总氮和总磷垂向分布与吸附解吸特征确定底泥清淤深度,并提出判别清淤深度的沉积物剖面 TN、TP 含量控制值^[22]。

河湖库水环境质量改善是沉积物研究的内驱力和目标,沉积物-水界面是沉积物和上覆水之间的“桥梁和纽带”,沉积物-水界面污染物迁移转化规律、扩散层模型模拟和交换通量计算等基础理论以及相应的监测检测技术方法日趋完善^[5,19],极大提高了底泥清淤工程实施的科学性。太湖 2007 年之后开展的第一轮环保清淤工程规划中采用的“网格层次法”,以氮磷静态释放、重金属生态风险指数、氮磷有机质、活性磷、氧化还原电位以及水质和生态特征等 17 个指标,将拟清淤水域划分单元网格开展评价,划分为推荐清淤区、规划治理区、规划保留区和规划保护区^[12]。文献^[14]在确定太湖清淤范围时主要选取底泥营养盐、底泥重金属生态风险、底泥厚度以及工程安全性指标。

近年来,江苏、河北、湖南、浙江等地相继制定河湖环保清淤工程地方标准^[23-26],对清淤工程现场查勘、施工设备调遣、施工过程和底泥处理处置等提出技术要求。部分地方标准涉及了环保清淤工程前期论证工作,例如河北省地方标准《河湖生态清淤工程技术规程》(DB13/T 5606-2022)将底泥营养盐含量、重金属释放生态风险等作为清淤范围和深度确定主要依据^[25]。美国在 2008 年提出的《受污染底泥环保清淤工程技术指南》提出环保清淤工程前期论证需要开展初步评价、施工场地评价、底泥性质评价以及清淤效果定量评价标准等工作^[27]。底泥清淤范围和深度是环保清淤工程前期论证的核心内容,决定了工程规模和投资概算。但总体来说,我国缺乏比较全面的环保清淤工程前期论证决策过程中需要回答“为什么要清”“清哪里”“清多深”等关键问题的标准规范,这也是可能导致部分环保清淤工程决策失误的重要原因之一。

底泥营养物质以及有毒有害污染物赋存状态监测检测及风险评价、清淤范围和深度确定等均属于工程前期规划、可行性研究、初步设计等工程前期阶段必须开展的工作,是环保清淤工程论证的重要内容。在工程实践过程中,目前现有基础研究成果尚未能完全应用到环保清淤工程前期论证,仍需广大基础科研工作者和管理人员、工程技术人员共同努力。环保清淤工程前期论证需要关注以下 5 个方面相关问题。

(1) 制定前期论证专项技术标准,规范环保清淤工程前期论证工作。沉积物-水界面内源释放通量估算方法包括质量衡算法、表层沉积物培养法、沉积物柱心培养法、水底培养箱法、分子扩散模型法、反应-输送模型法、天然同位素法、动力水槽法、动力再悬浮法等 9 种方法^[5]。清淤工程深度确定方法有视觉分层法、拐点法、背景值法、标准偏差倍数法、频率控制法、生态风险指数法、分层释放法、吸附解析法等 8 种方法^[12]。由于每种方法均有自己的优缺点和适用范围,即使面对同一个对象采用不同的方法也有可能得到不尽相同的结论,这就会增加环保清淤前期论证造成决策风险。尽快制定环保清淤工程前期论证专项技术标准,进一步规范前期基础性工作的程序、内容、方法等技术要素,使得“水下隐秘”的清淤工程更加“显性化”,可促进相关产业良性发展,实现生态环境保护和社会经济发展双赢。

(2) 加强能够直接服务于工程实践的技术方法研制,不断在工程实践中检验和完善。现有清淤范围和清淤深度确定等论证方法大多是研究人员在特定区域开展研究时提出来的,尚未经过大规模工程实践检验。建议进一步加强不同论证方法工程实践应用,鼓励研发人员在实际工程中不断尝试、检验和规范化。及时总结经验,提高前期论证方法的可靠性和科学性,选择相对简单、易于操作、重现性好的技术方法作为标准方法是值得推荐的技术思路。与此同时,集成和研发和方法标准相配套的易操作、低能耗的监测检测仪器设备与耗材,缩短监测检测周期,降低监测检测技术门槛和费用。建议相关部门鼓励支持在清淤工程前期论证中积极采用新技术、新材料等,推动相关标准和规范的形成。

(3) 注意技术方法的科学性和实用性之间平衡,精确度和可操作性之间平衡。基础研究过程中监测采样可以做到很高的分辨率,有利于探究复杂的机制机理;但基础研究方法要服务于实际应用,并不是监测检测

样品量越大、分辨率越高越好,需防止过度监测检测增加工程论证预算投资。例如,沉积物孔隙水采样垂向空间分辨率可达到 2 mm^[5, 19, 28, 29],在工程清淤深度论证过程是否需要 2 mm 的分辨率? 毕竟现有工艺设备底泥清淤深度只能精确到 5~10 cm^[12]。

(4) **科学确定样品采集数量,合理控制监测检测成本。**采集和检测的底泥样品过多,会造成工程前期论证费用偏高;样品过少,难以准确把握底泥污染赋存现状和评价生态环境风险。建议加强先进成熟的采样设计和数理统计方法的运用,充分挖掘监测数据信息,提高数据使用效益。

(5) **完善环保清淤工程造价编制依据,及时调整相关取费定额。**目前,编制河湖库环保清淤工程可研和初步设计概预算时,通常依据《水利工程设计概(估)算编制规定》(水总[2014]429号)文件及地方水利、发改等部门相关规定,或者依据《水运建设工程概预算编制规定》(JTS/T116-2019)等相关文件^[30-31]。无论是水利行业还是交通部门,在编制概预算时环保清淤工程仍然被当成一般工程清淤疏浚工程,只是在具体工序环节时有所考虑。缺乏环保清淤工程造价相应的编制依据,有可能在开展工程监理、完工审计等工作时引起争议。环保清淤工程区别于传统的水利、交通水运工程,具有水环境污染控制工程和水利工程双重属性,通过去除受污染底泥实现削减内源污染负荷是主要目标。环保清淤工程在规划、可行性研究和初步设计等项目前期阶段需要开展大量的调查勘测、方案比选等技术论证工作,必要性、可行性和定量性决策所涉及方法和手段的要求比一般的工程疏浚要求高得多、科学性强。在工程施工过程中,清淤深度精度控制以及工程影响的水质监测等环保要求同样比一般清淤工程技术要求更高,因此不仅需要高素质工程技术人员,而且需要投入大量高技术含量的仪器设备。对环保清淤工程的前期论证成本和施工成本较高要有足够认识。

2 环保清淤工程监测监控

环保清淤工程过程监测监控是工程施工过程质量保障、施工效果评价以及生态环境影响评价和恢复的主要依据。根据监测监控持续时间长短,可以分为短期监测监控和长期监测。短期监测监控主要包括施工过程中清淤范围、深度监控和水体水质监测等。表层底泥的低扰动和低扩散是环保清淤区别于传统清淤的重要要求,清淤范围和深度监控主要目的是提高工程施工精度,减少底泥“欠挖”和“超挖”。水体水质监测则是降低施工过程中对敏感水体不利影响,加强施工质量控制的主要措施。清淤施工引起的悬浮颗粒物含量是水体主要监测指标,涉及饮用水源地、生物栖息地等重要敏感水体时重金属、营养盐浓度也是重要监测指标^[27, 32]。施工过程中新工艺和新工法以及新设备、新装备(例如研制新铰刀头、加装防护罩)不断被应用到工程实践中,以降低清淤过程中底泥再悬浮和扩散风险,施工过程中底泥再悬浮扩散影响距离建议控制在 15 m 之内^[26, 33]。研发集成减缓或降低施工过程对于敏感水体不利影响的监测设备和装置材料,根据天气、水流等施工区域具体情况制定个性化监测监控和施工质量保障方案是环保清淤工程监测监控研究的重点内容之一。

环保清淤工程的长期监测主要包括清淤区域回淤过程监测,水体水质改善效果监测,底栖动物、水生植物等水生生物群落结构变化过程监测等。长期监测是清淤工程后评价以及清淤工艺设备改进的重要基础。清淤工程去除表层受污染底泥的同时,不可避免地对依附于表层底泥的底栖动物、水生植被等水生生物产生一定影响,这也是许多学者认为“环保清淤”不能称为“生态清淤”的重要原因之一^[12]。去除表层污染物、削减内源污染负荷、改善水生态环境质量和在一定程度上干扰乃至改变原有水生态系统是环保清淤工程决策时权衡的正反两方面因素。“两害相权取其轻”,这就需要前期论证过程中仔细比较研究,已实施工程长期监测研究可以为类似工程清淤决策提供重要参考依据。

清淤工程对于底栖动物群落的潜在负面影响是许多学者质疑清淤工程必要性的重要原因^[34-35]。太湖的竺山湖疏浚区底栖生物群落跟踪评估研究表明,疏浚初期对底栖生物群落具有一定的影响,但浚后 2 年底栖生物密度与生物量等指标已接近浚前水平,6 年后疏浚区与未疏浚区的底栖生物群落多样性指数已无差别^[36]。疏浚区底栖生物群落依靠自恢复能力可达到浚前水平,疏浚不会对底栖生物群落结构造成显著影响^[36]。环保清淤可以为底栖生态系统重构创造条件,处于厌氧状态的重污染底泥被清除后,有利于好氧的、适应于清洁水体的底栖动物种群恢复,以清淤前以耐污种为主的恢复目标作为评价标准群落结构没有必要,也无意义。对于大型水域来说,环保绞吸式清淤船带水作业时不可能在短期内同时将底泥全部清除,后清淤区域底泥以及清淤后残余底泥在水流运动下可以对清淤后底泥产生类似“接种”的作用,有利于补充或减轻清淤工程对底栖动物种群数量的不利影响。

清淤工程同样会改变水生植物群落结构和组成,一方面清淤工程可以直接去除水生植物根茎和表层泥中植物种质资源,另一方面清淤后部分水域水深超过水生植物尤其是沉水植物生长的最大水深,水生植被种群则难以恢复^[35,37]。太湖草型湖区胥口湾疏浚工程破坏了原先良好的水生植物群落,造成湖区整体水质下降,各主要生物类群的恢复相对缓慢^[35]。固城湖小湖区清淤工程实施后次年部分水域水生植被未能恢复,清淤后水体过深是重要原因^[37]。严格控制清淤深度,避免超挖导致湖床紧实度过高,形成不利于水生植被生长的底质条件。加强湖泊底质修复,营造适宜水生植被恢复的底质条件^[27]。清淤疏浚工程对鱼类生长繁殖及其对渔业生产的影响也是国外学者关注的研究内容^[32,38]。近海港口疏浚过程中,在鱼类生长繁殖关键时期,将水体悬浮颗粒物浓度控制在 $44 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以下,持续时间不超过 24 h,可以保护 95% 的鱼类免受疏浚工程影响导致死亡^[38]。今后应加强环保清淤工程实施前后水环境以及底栖动物、水生植物群落的长期监测研究,客观合理评价环保清淤工程不利影响,完善工程施工设备和工艺,采取减缓其不利影响措施,为环保清淤工程决策提供科学支撑。

3 清淤工程实施效果评价

如何科学合理评价清淤工程实施效果和绩效评价是清淤决策时关注的焦点问题之一。环保清淤工程主要目标是去除受污染底泥和削减水体内源负荷,实现改善水环境质量之目的。污染底泥去除效果可以通过比较工程实施前后底泥污染物赋存状态变化表征,还可以通过清淤工程实施后底泥污染物含量相对于背景值或某个污染物含量标准或推荐值表征^[39-40]。水体内源污染负荷削减效果评价则是比较监测工程实施前后内源污染负荷释放通量变化^[21]。清淤前后水体污染物浓度变化经常被用于环保清淤工程实施效果评价^[16,41]。

受污染底泥去除效果评价主要是从“泥”的角度评价,监测检测方法相对成熟,能够较好地表征工程土方量;内源污染负荷削减效果评价主要是从底泥对上覆水体影响的角度评价,该方法以水体污染源控制效果作为表征指标,目标清晰,但是存在内源污染释放通量易受温度、水流、生物、其它污染物等多个因素干扰,监测方法尚未标准化,监测成本偏高等问题;水体污染物浓度评价则是从“水”的角度进行评价,水环境质量改善和水生态修复是环保清淤工程最终目标。对于特定水体来说,开展水环境治理或水生态修复时,通常采用包括环保清淤工程在内的多种技术手段;目标水体水环境质量改善或水生态修复对于环保清淤工程实施的响应关系可能并不明确,导致采用该方法评价工程实施效果存在一定局限性。建立科学合理的环保清淤工程实施效果评价方法,制定相应的评价标准是环保清淤工程决策重要研究内容之一。

4 清淤底泥处理处置方法及资源化利用

清淤底泥科学合理处理处置是环保清淤工程的重要内容,淤泥的减量化、无害化和资源化利用也一直是广大学者研究的热点问题^[42-47]。国内许多省市在环保清淤工程技术规范中提出清淤底泥减量化、无害化、稳定化处理处置方法和资源化利用途径相关技术要求^[23-25,48-50]。例如,《水利环保清淤工程施工及验收规范》(DB 43/T 2766-2023)规定了淤泥预处理环节、脱水固化方式方法、余土处置途径等^[24]。广东省专门制定了河道淤泥脱水固结技术和淤泥固结后再利用泥质污染物含量标准^[48-49]。

坑塘回填、地基构筑、土地整理等一直是大宗清淤底泥资源化利用方式方法。近年来,受路基构筑土方需求下降、城市地下空间开发出土增加、土壤污染防治政策趋紧等多种因素影响,部分地区清淤底泥,特别是土地资源紧张的经济发达地区,大宗清淤底泥处理处置逐渐成为河湖库环保清淤工程实施的“卡脖子”环节。当前,迫切需要拓展清淤底泥资源化利用场景,在满足国家和行业标准前提下,将脱水固结底泥经过无害化处理后用于宕口修复、矿坑回填、堤防加固加高、岸边带湿地建设以及补充耕地等山水林田湖草国土空间修复,然而国内相关配套政策和技术标准还不健全。未受污染或者污染风险较小的清淤底泥资源化利用相关法律法规和政策制度保障及其技术标准规范的完善也应该是今后淤泥资源化利用的重要研究方向。

5 结论与展望

我国在河湖库开展清淤工程仅 20 余年,但在广大科技工作者和工程技术人员共同努力下,无论是基础理论还是工程实践都已经取得了长足进步。仍需要看到的是,当前发展现状,特别是基础理论研究成果在支持清淤工程决策和实施效果评价等方面,与实际需求之间仍有不小差距。在继续推动沉积物-水界面污染化学行为等基础研究的同时,本文提出未来工程案例研究应包括以下主要发展方向。

1) 在项目前期论证过程中, 进一步研究提出相对简单、易于操作、重现性好的技术方法, 集成和研发易操作、低能耗的监测检测仪器设备与耗材, 缩短监测检测周期, 降低工程前期论证预算投资。

2) 完善环保清淤工程造价编制依据, 及时调整相关取费定额, 体现环保清淤工程科技含量高的特点和技术价值。

3) 加强典型环保清淤工程长期监测跟踪研究, 建立科学合理的环保清淤工程实施效果和生态环境影响评价方法体系。

4) 完善和制定环保清淤工程前期论证、监控监测、实施效果评价以及清淤底泥资源化利用等方面技术标准, 规范相关工作的程序、内容、方法等技术要素, 推动“水下隐秘”的清淤工程更加“显性化”, 促进环保清淤产业良性发展, 实现生态环境保护和社会经济发展互促双赢。

参考文献

- [1] 中华人民共和国水利部, 中华人民共和国国家统计局. 第一次全国水利普查公报[Z]. 北京: 中国水利水电出版社, 2013.
- [2] 胡春宏, 张晓明. 近十年我国江河水沙变化、水沙调控与泥沙资源化利用研究[J]. 中国水利, 2022(19): 24-28.
- [3] 曹文洪, 刘春晶. 水库淤积控制与功能恢复研究进展与展望[J]. 水利学报, 2018, 49(9): 1079-1086.
- [4] 邓安军, 陈建国, 胡海华, 等. 我国水库淤损情势分析[J]. 水利学报, 2022, 53(3): 325-332.
- [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] 霍守亮, 席北斗. 中国湖泊沉积物污染[M]. 北京: 科学出版社, 2019.
- [7] QIN B Q, ZHANG Y L, ZHU G W, et al. Eutrophication control of large shallow lakes in China[J]. *Science of the Total Environment*, 2023, 881: 163494.
- [8] DING S M, CHEN M S, GONG M D, et al. Internal phosphorus loading from sediments causes seasonal nitrogen limitation for harmful algal blooms[J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 625: 872-884.
- [9] YANG Y, GAO B, HAO H, et al. Nitrogen and phosphorus in sediments in China: A national-scale assessment and review[J]. *Science of the Total Environment*, 2017, 576: 840-849.
- [10] 金相旭, 荆一凤, 刘文生, 等. 湖泊污染底泥疏浚工程技术—滇池草海底泥疏挖及处置[J]. 环境科学研究, 1999, 12(5): 9-12.
- [11] 颜昌宙, 范成新, 杨建华, 等. 湖泊底泥环保疏浚技术研究展望[J]. 环境污染与防治, 2004(3): 189-192.
- [12] 范成新, 钟继承, 张路, 等. 湖泊底泥环保疏浚决策研究进展与展望[J]. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1254-1277.
- [13] 范成新, 刘敏, 王圣瑞, 等. 近 20 年来我国沉积物环境与污染控制研究进展与展望[J]. 地球科学进展, 2021, 36(4): 346-374.
- [14] 姜霞, 张晴波, 王书航. 太湖有毒有害与高氮磷污染底泥环保疏浚规划研究[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [15] 姜霞, 王书航, 张晴波, 等. 污染底泥环保疏浚工程的理念-应用条件-关键问题[J]. 环境科学研究, 2017, 30(10): 1497-1504.
- [16] 吴芝瑛, 虞左明, 盛海燕, 等. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 277-284.
- [17] 武建中, 卢志炎, 盛晨兴. 我国疏浚业的现状与展望[J]. 中国水运, 2017(2): 14-16.
- [18] 濮培民, 王国祥, 胡春华, 等. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗?[J]. 湖泊科学, 2000, 12(3): 269-279.
- [19] 雷沛, 张洪, 王超, 等. 沉积物水界面污染物迁移扩散的研究进展[J]. 湖泊科学, 2018, 30(6): 1489-1508.
- [20] 范成新, 周易勇, 吴庆龙. 湖泊沉积物界面过程与效应[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [21] LIU C, SHEN Q S, ZHOU Q L, et al. Precontrol of algae-induced black blooms through sediment dredging at appropriate depth in a typical eutrophic shallow lake[J]. *Ecological Engineering*, 2015, 77: 139-145.
- [22] 周亚婷, 陈兴宏, 李立青, 等. 基于沉积物中总氮和总磷垂向分布与吸附解吸特征的白洋淀清淤深度[J]. 环境科学, 2021, 42(10): 4781-4788.
- [23] 浙江省市场监督管理局. 河湖水库清淤技术规程: DB33/T 1337-2023 [S/OL]. [2023-12-18]. 2023. https://bz.zjmr.zj.gov.cn/public/news/view/STD_PUBLIC/dc9db34b809f4ac6b9f6458355ff0ff0.html.
- [24] 湖南省市场监督管理局. 水利环保清淤工程施工及验收规范: DB43/T 2766-2023 [S/OL]. [2023-12-18]. 2023. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/7e8c57945b176c2fb221ba7261b97c1d798797df1455b56d5e17096f6d5929fb>.
- [25] 河北省市场监督管理局. 河湖生态清淤工程技术规程: DB13/T 5606-2022 [S/OL]. [2023-12-18]. 2022. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/ffe69a5979096d32d6f61a5a2433dd2e9ccc452d3be184f8f578d8ad04e1d63>.
- [26] 江苏省质量技术监督局. 河湖生态疏浚工程施工技术规范: DB32/T 3258-2017 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [27] US ARMY CORPS OF ENGINEERS. Technical guidelines for environmental dredging of contaminated sediments: ERDC/EL TR-08-29 [S/OL]. [2023-12-18]. 2008. <https://semsub.epa.gov/work/HQ/174468.pdf>.
- [28] XU D, WU W, DING S M, et al. A high-resolution dialysis technique for rapid determination of dissolved reactive phosphate and ferrous iron in pore water of sediments[J]. *Science of the Total Environment*, 2012, 421: 245-252.
- [29] YUAN Z F, GUSTAVE W, BRIDGE J, et al. Tracing the dynamic changes of element profiles by novel soil porewater samplers with ultralow disturbance to soil-water interface[J]. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(9): 5124-5132.
- [30] 曹娟娟, 郭喜亮. 内湖环保疏浚工程造价计算[J]. 水运工程, 2018(S1): 11-13.
- [31] 中华人民共和国交通运输部. 水运建设工程概算预算编制规定: JTS/T 116-2019[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2019.
- [32] WENGER A S, HARVEY E, WILSON S, et al. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish[J]. *Fish Fish*, 2017, 18(5): 967-985.
- [33] 中华人民共和国水利部. 疏浚与吹填工程技术规范: SL 17-2014 [S]. [2023-12-18]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
- [34] 钟继承, 范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学, 2007, 19(1): 1-10.
- [35] 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 等. 太湖东部不同类型湖区底泥疏浚的生态效应[J]. 湖泊科学, 2014, 26(3): 385-392.

- [36] 张建华, 殷鹏, 张雷, 等. 底泥疏浚对太湖内源及底栖生物恢复的影响[J]. 环境科学, 2023, 44(2): 828-838.
- [37] 陆海明, 刘伟婷, 闵克祥, 等. 清淤工程对固城湖小湖区水生态环境影响研究[J]. 江苏水利, 2022(11): 25-30,36.
- [38] WENGER A S, RAWSON C A, WILSON S, et al. Management strategies to minimize the dredging impacts of coastal development on fish and fisheries[J]. *Conserv Lett*, 2018, 11(5): e12572.
- [39] 易升泽, 王明超, 董晏良. 茅洲河清淤后底泥重金属污染特征及风险评价[J]. 水资源开发与管理, 2023, 9(12): 26-34.
- [40] 朱敏, 王国祥, 王建, 等. 南京玄武湖清淤前后底泥主要污染指标的变化[J]. 南京师范大学学报(工程技术版), 2004, 4(2): 66-69.
- [41] 朱伟, 冯甘雨, 刘毅璠, 等. 深水型水库环保疏浚对水质的影响及敏感参数研究—以通济桥水库为例[J]. 湖泊科学, 2019, 31(4): 930-940.
- [42] 胡拓, 杨曦. 河湖淤泥疏浚及淤泥处理处置技术研究[J]. 中国水运, 2020(1): 95-96.
- [43] 杨晓龙, 练新. 环保疏浚底泥处置技术的研究进展[J]. 水资源保护, 2016, 32(S1): 109-113.
- [44] 林莉, 李青云, 吴敏. 河湖疏浚底泥无害化处理和资源化利用研究进展[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(10): 80-88.
- [45] PAL D, HOGLAND W. An overview and assessment of the existing technological options for management and resource recovery from beach wrack and dredged sediments: An environmental and economic perspective[J]. *Journal of Environmental Management*, 2022, 302: 113971.
- [46] THOMAS G, ISABELLE C, FREDERIC H, et al. Demonstrating the influence of sediment source in dredged sediment recovery for brick and tile production[J]. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, 171: 105653.
- [47] ZHANG Y, LABIANCA C, CHEN L, et al. Sustainable ex-situ remediation of contaminated sediment: A review[J]. *Environmental Pollution*, 2021, 287: 117333.
- [48] 广东省市场监督管理局. 河道淤泥固化处置再利用泥质: DB44/T 2190-2019 [S/OL]. [2023-12-18]. 2019. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/72c788ea7ae8968fc5c161fcd4cd1905e9bd39b380bfc14d73ec314d1c9704db>.
- [49] 广东省市场监督管理局. 河道淤泥固化处置技术规范: DB44/T 2171-2019 [S/OL]. [2023-12-18]. 2019. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/4cfcfd2a0c0b6d8454ef90050882fd169f9812a2ea3ea5bb7445ee522feab572>.
- [50] 山东省质量技术监督局. 城市河道淤泥利用规范: DB37/T 3387-2018 [S/OL]. [2023-12-18]. 2018. <https://dbba.sacinfo.org.cn/stdDetail/17dcb6084dc3cd4946e3ac14fae638bfbcac64181c34b651333201fd9dda0323>.

(责任编辑: 金曙光)

The importance of engineering case studies in decision making for environmental dredging

LU Haiming^{1*}, TANG Yunqing¹, TANG Wenzhong², YIN Hongbin³, ZHANG Hong²

1. Nanjing Hydraulic Research Institute, National Energy Administration, Ministry of Transport, Ministry of Water Resources, Nanjing 210029, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Aquatic Chemistry, Research Center for Eco-environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 3. State Key Laboratory of Lakes and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

*Corresponding author, E-mail: cnlhm@126.com

Abstract Environmental dredging has become an important engineering measure for the pollution control and ecological restoration of rivers, lakes and reservoirs in China since the 1990s. Due to high technical requirements, large investment amount and involving many aspects, it is necessary to carry out systematic summary based on the experience of engineering cases to improve the forward-looking and scientific decision-making of environmental dredging engineering. Current scientific and technological challenges of environmental dredging and its future developing direction were addressed through the comprehensive summary on the preliminary demonstration, survey and monitoring, achievement evaluation, treatment and disposal of contaminated sediment, resource utilization of dredged sediments from available case projects.

Keywords environmental dredging; engineering cases; decision-making studies; research directions