

文章编号:1000-5641(2011)01-0032-11

# 城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展

曹承进, 陈振楼, 王 军, 黄民生, 钱嫦萍, 柳 林  
(华东师范大学 资源与环境科学学院 地理信息科学教育部重点实验室, 上海 200062)

**摘要:** 通过调研国内外生态疏浚技术最新的研究成果,从技术特点、技术流程、技术原理、技术参数、技术使用中存在的问题以及技术的应用前景等方面介绍了底泥生态疏浚技术的基本情况和国内外研究进展.开展共性技术集成研究,力求凝炼出适用于我国城市黑臭河道内源(底泥)污染异位处理的共性技术,为我国城市河道污染控制工程提供技术借鉴和参考.

**关键词:** 城市黑臭河道; 生态疏浚; 底泥异位处理; 共性技术集成

**中图分类号:** X824      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1000-5641.2011.01.004

## Review of sediment ecological dredging in urban black-odors river treatment

CAO Cheng-jin, CHEN Zhen-lou, WANG Jun, HUANG Min-sheng,  
QIAN Chang-ping, LIU Lin

(Key Laboratory of Geographic Information Science, Ministry of Education,  
School of Resources and Environment Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

**Abstract:** Based on the latest research achievements, the common technology of sediment ecological dredging was integrated by condensing some key factors including technical characteristic, process, principle, parameter, using problems, and application prospect. The new integrating technology is expected to be a common technology of sediment displacement treatment. This study offers reference and consult to China urban river pollution controlling.

**Key words:** urban black-odors river; ecological dredging; sediment displacement treatment; common technology integration

## 0 引 言

随着中国城市经济的突飞猛进和城市化的日新月异,随之而来的城市水污染问题也愈

收稿日期:2010-10

基金项目:国家科技重大专项(2009ZX07317-006);国家自然科学基金(41001347,40971259);中国博士后科学基金(20100470759);上海市博士后科研资助计划(10R21412300);上海市优秀学科带头人计划(10XD1401600)

第一作者:曹承进,男,博士后,研究方向为环境科学与工程、城市水资源与水环境.

E-mail:caochengqiao@126.com.

通讯作者:陈振楼,男,教授,博士生导师. E-mail:zlchen@geo.ecnu.edu.cn.

演愈烈. 据统计,80%以上的城市河道受到了污染<sup>[1-4]</sup>,其中很多甚至出现了季节性和常年性水体黑臭现象<sup>[4-6]</sup>. 因此,在“城市,让生活更美好”的理念指导下,对城市河道污染进行综合整治已经刻不容缓. 城市河道污染可分为外源污染和内源污染,当外源污染被有效阻断后,沉积在河道底部的营养盐仍可逐步释放而导致水质恶化. 因此,决定河道水体状态的重要因子中不能忽略了河流污染底泥所起的作用<sup>[1-4]</sup>. 另外,由于城市河道是一窄浅型的水体,其边界条件极其复杂,沉积年代较久远,因此,底泥的二次污染也是不容忽视的重要污染源<sup>[3-6]</sup>. 另一方面,随着各地城市化进程的加快,河道的淤积和人为填堵现象十分严重,导致河床抬高,河道水面积及调蓄水量日益减少,防洪排涝能力、航运能力和水环境质量下降,严重的会使河道丧失其原有功能<sup>[6,7]</sup>.

河道疏浚作为城市河道水环境综合整治的主要措施之一,其方法有很多,主要包括:水下疏浚,干河疏浚,依靠水力疏浚以及采用爆破等手段疏浚. 就疏浚技术现状来看,又分为工程疏浚技术、环保疏浚技术和生态疏浚技术等<sup>[4-7]</sup>. 其中,以减少内源污染负荷为目的的河道底泥生态疏浚技术,被认为是控制河道内源污染效果明显的工程技术措施之一<sup>[8]</sup>. 生态疏浚主要是清除沉积物表层的氮、磷、有机质的富集层,部分切断河道水体内营养盐物质循环锁链,将大部分富含营养盐的物质移出河道水体,主要涉及到沉积环境和动力学条件,需综合考虑物理、化学、生物以及社会等多因子影响,在工程实施过程中,必须兼顾生态平衡、物质循环的概念,以达到省效宏,投入和产出的动态平衡<sup>[3,6]</sup>.

1 城市黑臭河道底泥生态疏浚技术简介

1.1 技术概述

城市河道水体的生态疏浚与传统意义上的工程疏浚有着明显的区别(见表 1)<sup>[9]</sup>,它是在河道水生态系统中底泥受到污染的背景下运用发展生态理论实施的生态修复工程,其本质是以工程、环境、生态相结合来解决城市河道水体的可持续发展或称河道“生态位”的修复. 在污染底泥沉积层,采用工程措施,通过底泥的疏挖最大可能地将储积在该层中的污染营养物质移出水体以外,清除污染水体的内源,减少底泥污染物向水体的释放,改善水生态循环,遏制河道稳定性的退化,并为水生生态系统的恢复创造条件(见图 1)<sup>[1,8]</sup>. 该技术必须注重生物多样性和物种的保护,以不破坏水生生物自我修复繁衍为前提,同时又为生物技术介入创造有利条件<sup>[4-6,8]</sup>.

表 1 河道生态疏浚与一般工程疏浚的区别

Tab. 1 Differences between ecological dredging and common dredging in rivers		
项目	生态疏浚	一般工程疏浚
生态要求	为水生植物恢复创造条件	无
工程目标	清除底泥中的污染物	增加水体容积,维持航行深度
边界要求	按污染土层确定	底面平坦,断面规则
疏挖深度	<1.0 m	>1.0 m,限制扩散
对颗粒物扩散限制	尽量避免颗粒物扩散及再悬浮	不作限制
施工精度	可达 50 mm	200~300 mm
设备选型	标准设备改造或专用设备	标准设备
工程监控	专项分析,严格监控,环境风险评估	一般控制
底泥处理	根据泥、水污染性质处理	泥、水分离后堆置
尾水排放	处理达标后排放	未处理
疏浚后河床修复	滩地结构改造、微生物再造和河床基质改良等	无要求



图1 河道生态疏浚

Fig. 1 The ecological dredging in urban rivers

注:(a)疏浚作业;(b)干河疏浚;(c)带水疏浚

## 1.2 技术流程

河道底泥生态疏浚技术工艺的核心技术包括:疏挖深度设计、沉积物疏挖形式、空间定位技术、满足生态恢复需求的施工方式设计、余水处理和疏挖底泥的处置等<sup>[1,4,6,8]</sup>. 常规的生态疏浚工艺流程见图2.

## 1.3 技术原理

虽然城市河道底泥生态疏浚技术因各个河道所处的城市社会经济发展特征、河道整治的生态环境要求以及采取的疏浚方式不同而形式各异,但其基本原理是相同的. 首先,必须对城市河道的外源污染进行截除,包括点源和面源污染,这是生态疏浚的前提条件和基础. 其次,必须针对相应河道进行生态疏浚的现场调查和分析,调查河道底沉积淤泥的分布、蓄积量和污染物在沉积层中的垂直分布等,为进一步的疏浚提供技术支撑和决策依据. 调查项目主要有:底泥的时空分布特性;底泥土工和空间分布特性;底泥营养盐特性和空间分布;重金属含量、形态特征和空间分布;底泥间隙水水化学特性;河道水生态特性;河道水质和水力学特征;河岸带环境特性等<sup>[3,6,9]</sup>. 根据前期调查的结果,制定行之有效的生态疏浚方案,选取关键技术,对河道进行生态疏浚. 具体包括:生态疏浚地点和范围的确定;底泥疏浚深度的精确定位;生态疏浚方式的选取;疏浚设备的选择;物种保护区或保护带的划定;适宜施工期的选定等<sup>[4,6,8-12]</sup>. 最后,完善并完成河道生态疏浚后的处理措施和工序,包括对疏挖的底泥进行安全处置和尾水处理以及疏浚后河床基底的修复<sup>[1,11,12]</sup>.

特别需要说明的是,城市河道底泥生态疏浚发生环境风险主要在三个关键点:疏浚挖掘、泥水远距离输送和排泥场安全. 因此,设计论证阶段应作严格的环境风险评估,确保万无一失<sup>[1,11,12]</sup>. 而在整个工程的实施过程中,除应按一般疏浚工程的要求施工外,还必须符合环境的要求,避免造成水体的二次污染,如设置防渗层,布置围堰和隔埂等<sup>[3,6,9]</sup>.

## 1.4 技术指标

### (1) 底泥生态疏浚深度

底泥疏浚深度是生态疏浚的核心参数,需根据河道水文水质特征、底泥分布状况、底泥营养盐含量和垂直分布特性以及水体水生态系统特性等诸多参数进行系统分析、评估、确定<sup>[4,6,8]</sup>. 据多年多河道、湖库底泥疏浚经验,城市河道底泥生态疏浚深度宜以 0.3~0.5 m 为好;且疏浚深度误差 $\leq 0.1$  m,疏浚底泥扩散距离 $\leq 0.5$  m,平面平整度好,不漏疏或形成沟坎,并能为后续生物技术介入创造必要的生态环境条件<sup>[3,6,9]</sup>.

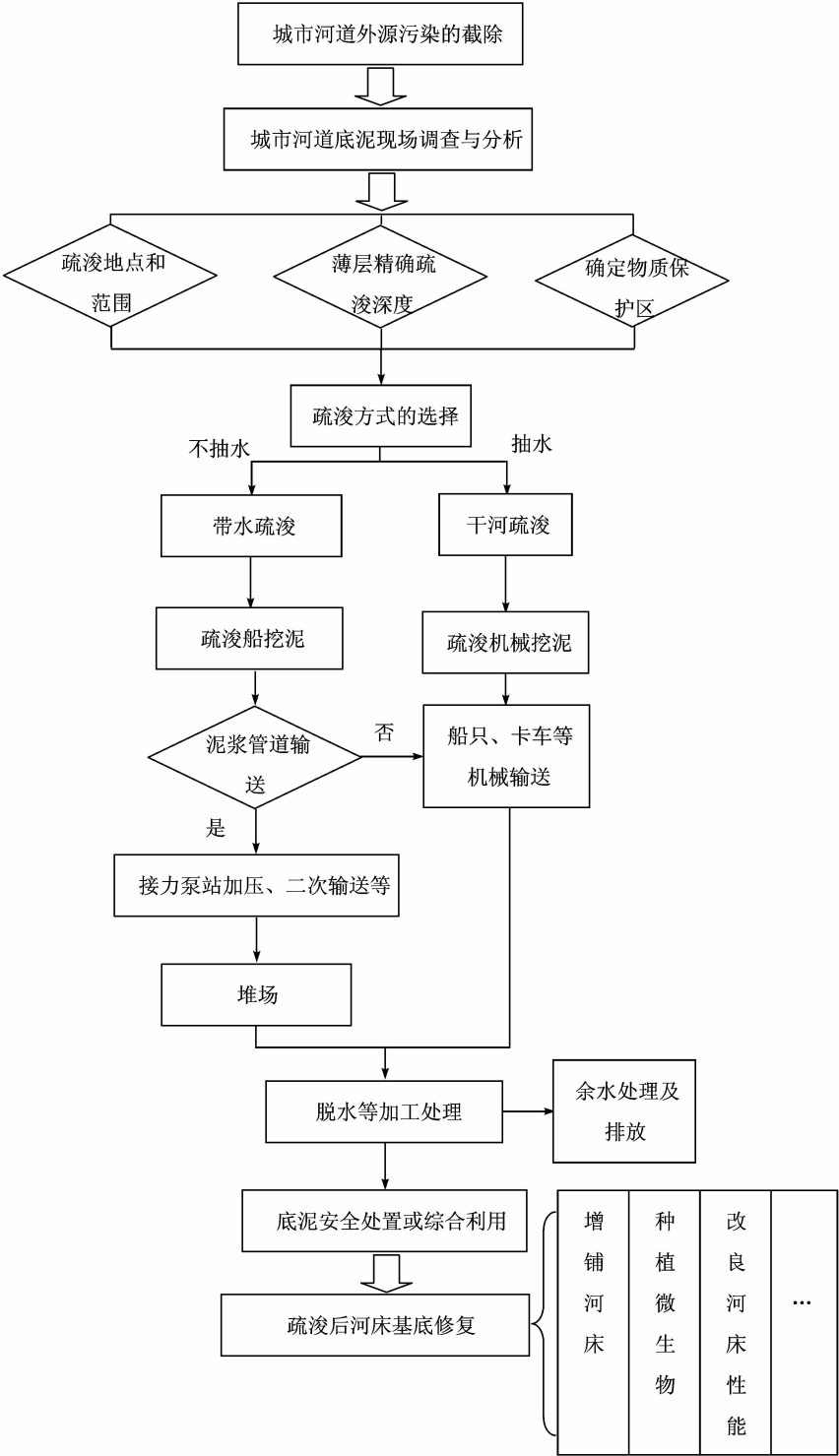


图 2 河道底泥生态疏浚技术工艺流程

Fig. 2 The technical process of sediment ecological dredging in urban rivers

(2) 生态疏浚方式

一般有两种方式:干河疏浚(见图 1b)和带水疏浚(见图 1c)<sup>[10]</sup>. 干河疏浚是将水排干, 然后使用设备进行疏浚, 这种方法应用非常有限, 大多数应用在小型河道中. 带水疏浚应用比较广泛, 方法也较多, 要根据污染物的特性采取措施, 尽量减少开挖时污染物在水中扩散所形成的二次污染. 例如, 可以在水体上游借助水流和风力作用来扩散、混合、投加药剂, 来降低底泥河水中营养盐含量, 沉积的营养盐可以通过之后的生态疏浚从水体清除出去; 同时利用尼龙塑料纺织布或其它材料做成淤泥网、泥沙拦网, 把网帘以桩网、浮网或吊缆挂网的方式设置于清淤区与非清淤区的适当位置, 缓流促淤, 泥沙迅速在网帘断面附近落淤, 使河道再悬浮颗粒限定在一定区域. 生态疏浚宜采用分区机械化封闭吸疏式作业<sup>[1,3]</sup>.

(3) 生态疏浚设备

生态疏浚设备的重点是疏浚头部设备, 其中, 密闭和抽吸是关键. 根据生态疏浚的特点和环保控制的要求, 工程中多采用环保无扰动型挖泥船. 底泥密度 $<1.8\text{ g/cm}^2$ , 采用环保绞吸式疏浚船; $>1.8\text{ g/cm}^2$ , 采用环保斗轮式疏浚船<sup>[1,3,6]</sup>. 由于城市河道具有两岸临河建筑多、底泥淤积严重、垃圾分布广和水体自净能力差等特点, 宜选用小型设备施工(船宽 $<6.0\text{ m}$ , 吃水 $<1.0\text{ m}$ , 不可拆高 $<2.5\text{ m}$ ), 目前采用较多的疏浚设备选型见表 2.

表 2 城市河道底泥生态疏浚设备选型

Tab. 2 The equipment of sediment ecological dredging in urban rivers			
船型	适宜作业条件	优点	缺点
泥浆泵	干水作业	挖运吹一体; 施工质量好; 施工成本低; 设备调遣方便.	受排距影响大, 超过设备额定排距须增设集浆池及接力泵, 成本提高; 生产效率受垃圾等障碍物影响大.
小型绞吸式挖泥船	带水作业	挖运吹一体; 施工质量好; 生产效率高; 成本低.	受排距影响大, 超过设备额定排距须增设集浆池及接力泵, 成本提高; 与通航矛盾大; 受河宽、桥梁等限制, 调遣不灵活; 生产效率受垃圾等障碍物影响大.
清淤机(水陆两栖式挖泥机)	带水或干水作业	受运距影响小.	挖运卸设备间相互影响大; 施工质量难控制, 淤泥质土很难清除净; 成本高; 受河宽、桥梁等限制, 调遣不灵活.

(4) 生态疏浚的地点和范围

应优先考虑污染淤积严重、重要城市的供水水源地取水口和重点风景旅游区以及对城市河道水生生态系统影响较大的河段(如鱼类繁殖场和水生植物基因库)等; 同时清淤需考虑设置 200~300 m 的安全范围.

(5) 物种保护区或保护带的划定

施工设计中疏浚区域可以布置成条田状, 隔一疏一, 待疏浚带植被 4~5 年自然繁衍更殖后, 再疏生物保留带. 具体疏一隔一宽度和间隔时间应由试验工程、生物科技积累, 调查研究后取得设计参数.

(6) 适宜施工期

城市河道生态疏浚作业最佳施工期为冬初至春末. 这一时期正值低水位期, 风浪相对较小, 水体交换缓慢, 底泥基本处于相对静态. 浮游生物因水温低、日照强度小, 大部分积聚在水土界面上, 呈休眠状态, 此时开展疏浚可做到费省效高, 最大限度地去除营养物质. 此外, 低水位也有利于提高机械作业效率.

(7) 排泥场设计要求

采用封闭围隔防渗漏处理,防止高浓度污水返流入河道中和污染地下水。

#### (8) 尾水排放标准

尾水处理率 $>90\%$ ,SS 质量浓度 $<150\sim 200\text{ mg/L}$ ,或经小型净化处理设施、氧化塘等处理达标后才准予排放<sup>[11,12]</sup>。

#### (9) 疏浚后河床基底的修复要求

包括建成向堤岸的一定边坡的河床滩地结构或阶梯结构、增铺河床细卵石、种植河床微生物和改良河床基质材料等<sup>[6,11,12]</sup>。

## 2 城市黑臭河道底泥生态疏浚技术国内外研究动态分析

### 2.1 国外研究进展

河道和湖库疏浚已有数十年的历史,在国外,一些发达国家和地区从 20 世纪 70 年代就开始致力于生态疏浚技术的开发和相关设备的研制。目前,国外的生态疏浚主要以去除河流、浅水湖库和港湾的重金属及 PCBs 等持久性有机污染物为目的<sup>[13]</sup>。因此,对底泥疏浚效果研究较多的是河口、港湾的疏浚对环境的影响及底泥的再悬浮,而对河道水生生态系统影响的研究尚不多见<sup>[14]</sup>。另一方面,疏挖深度确定和疏挖形式的选取是底泥生态疏浚技术的核心内容。研究表明,通常采用绞吸式疏浚可以将释放速率控制在较低甚至负值水平,而采用排干法疏浚由于不能保证疏浚精度和控制表层污泥的残留率,疏浚质量难以保证<sup>[15]</sup>。关于定位技术,目前国外环保疏浚工程普遍采用 RTK GPS 定位技术,平面定位精度达到厘米级,挖深精度控制在 $5\sim 10\text{ cm}$ <sup>[16,17]</sup>。疏浚机械对生态疏浚效果的影响明显<sup>[17,18]</sup>,绞吸式挖泥船对土质的适应性强,生产率及排距的选择比较灵活,生产效率高且能耗和运行成本低,是国内外应用最为广泛的船型<sup>[19]</sup>。

为了控制河道、湖库内源污染,日本先后在手贺沼、諏访湖、印幡湖和霞浦湖等,美国在伊利湖和安大略湖南部,荷兰在 Ketelmeer 湖和 Geerplas 湖,匈牙利在 Balaton 湖,瑞典在 Trummen 湖等进行了局部或大规模的底泥疏浚工程。以上这些疏浚工程(有些在其他工程的配合下)多数立即改善了相关水域的污染状况,同时,也取得了一系列研究成果。Falcao M 等研究了葡萄牙南部沿海水域疏浚前后底泥和上覆水的物理和化学变化<sup>[20]</sup>,Vanderdoes J 对比评价了荷兰的 Geerplas 湖和 Nieuwkoop 湖在同时采取削减外源负荷污染条件下疏浚对湖泊水体磷的削减效果<sup>[21]</sup>。高桥成行<sup>[22]</sup>研究了日本佐鸣湖疏浚后的效果,疏浚后总磷含量降低,但 COD 没有降低。在生物方面,底泥疏浚效果的研究多集中于对底栖大型无脊椎动物的影响上,Jenkins S R<sup>[23]</sup>和 Julie A<sup>[24]</sup>研究了底泥疏浚引起的对贝类(scallop)等底栖动物的胁迫和影响;英格兰东南部疏浚的海岸初步研究表明疏浚停止 4 年后底栖动物仍受到干扰<sup>[25]</sup>;疏浚显著影响底栖动物的多样性和密度<sup>[26]</sup>。

特别值得注意的是,尽管生态疏浚工程具有许多优点,但国际上对河道和湖库底泥生态疏浚工程多持慎重态度,尤其重视生态疏浚方案的制定。许多经验表明,如果疏浚方案制定不当或疏浚条件不成熟,疏浚效果将受到很大影响,甚至会出现严重的生态问题<sup>[22,27]</sup>。在欧美和日本等国,对河道、湖库等底泥生态疏浚工程的论证是极其慎重的,即使对正在进行的疏浚工程仍采取伴随式研究,以随时指导疏浚中出现的环境和生态问题。以日本为例,对面积 $146\text{ km}^2$ 的霞浦湖土浦湾 $25\text{ km}^2$ 的疏浚项目,日本及其地方政府就论证了近 12 年<sup>[28]</sup>;对面积仅 $13.3\text{ km}^2$ 的諏访湖进行疏浚时,自 1969 年第一期疏浚工程开始,直至 1995 年,疏

浚工程仍在边施工边研究,总结成功经验后再逐步推广<sup>[29]</sup>.这些经验对边界条件复杂、社会影响较显著的城市河道生态疏浚工程具有显著的指导价值;在我国城市河道生态疏浚工程实施过程中,应进行示范性工程及伴随性研究和评价,对关键点进行充分的环境风险评估.

## 2.2 国内研究进展

生态疏浚技术在我国已经开始了应用,并取得了一些成果,尤其是最近 10 年以来其应用大有方兴未艾之势.1998-1999 年实施的滇池草海污染底泥疏挖及处置工程(I 期)是我国首例大型水域生态疏浚工程,取得了宝贵的经验、数据和示范效应.2000 年广西省南宁市对南湖实施了底泥疏浚工程,并对污染底泥采取了分散堆存封闭的处置方法;随后,西安兴庆湖、南京玄武湖和安徽巢湖等也进行了底泥清淤疏浚工作.2003 年我国最大的水下清淤工程——天津海河河道综合开发河道清淤工程启动<sup>[30]</sup>.2004 年太湖开展底泥生态疏浚工程<sup>[3,8]</sup>,主要疏浚范围是底泥厚且污染重的重点功能湖区,如梅梁湾和贡湖等;之后,太湖五里湖湖区也开展了生态清淤工程<sup>[31]</sup>.2007 年底,上海市苏州河环境综合整治三期工程启动,苏州河市区段底泥疏浚工程也随之上马<sup>[4-6]</sup>.

伴随这些生态疏浚工程的实施,已取得了一系列研究成果.范成新以太湖为例,率先在我国开展了湖泊底泥模拟疏浚及疏浚的预后效果研究<sup>[32]</sup>.濮培民等<sup>[33]</sup>研究了南京玄武湖疏浚效果:疏浚后底泥释放实验结果表明,营养盐溶液向水体的释放在疏浚后的短时段内有一定的效果,但在数月后底泥释放量就会恢复甚至超过原来的水平,或达到与新的水质相平衡的释放量.玄武湖疏浚后半年内透明度、COD 和 TP 基本不变,TN 略有改善.陆子川<sup>[34]</sup>从总氮和总磷的变化研究了宁波城区月湖底泥疏浚效果,底泥疏浚后水体中氮和磷(特别是磷)的浓度反而增加.邢雅因等<sup>[35]</sup>探讨了城市河道底泥疏浚深度对氮磷营养盐释放的影响,结果显示,不同层位底泥样中氮的质量分数随着沉积深度的增加而减小,底泥中氮磷的释放量与疏浚深度有关,当疏浚深度为 5 cm 或 15 cm 时,从泥水界面向水中扩散的氮磷通量均较小.在生物方面,吴洁等<sup>[36]</sup>从浮游植物群落结构和数量变化研究了杭州西湖包括底泥疏浚、截污和引水冲洗等综合生态效应,西湖经十几年治理后浮游植物优势种仍然为蓝藻门的富营养化指示藻种,优势种小型化发展加速.稍后,王小雨等人<sup>[37-39]</sup>从浮游植物和浮游动物方面开展对水体底泥疏浚效果的研究,结果表明底泥疏浚后浮游植物群落发生了演替,从疏浚前的绿藻-蓝藻-硅藻型演变为疏浚后的绿藻-硅藻-蓝藻型,浮游藻类数量平均下降 11%;疏浚后浮游动物数量逐渐上升,生物量逐渐下降,浮游动物体型小型化的趋势十分明显.

## 3 存在的主要问题和今后展望

强调适度疏浚和薄层清淤是生态环境疏浚的重要特征,沉积物疏浚太浅不能有效去除污染物质,疏浚过深又会破坏沉积物中的原有种源和底栖水生生物环境<sup>[1,23-25]</sup>.根据现有的工艺,目前已基本可以满足这些要求,但是,工程实践表明,仍存在以下问题与难点.

(1) 国内在疏浚精度控制、高浓度疏浚技术方面与国外先进水平差距较大,影响了底泥生态疏浚技术的应用和推广.国内有些河道的疏浚效果不明显,除了疏浚条件不成熟外(如在污染外源还没有得到有效控制情况下实施疏浚工程),以工程疏浚来代替生态疏浚也是一个很重要的原因.我国底泥疏浚设备的研制落后,多采用常规疏浚设备,垂直精度只能控制在 20 cm 之内,与发达国家存在着较大的差距.另外,高浓度疏浚是国际上底泥疏浚技术的发展方向之一,采用高浓度疏浚不仅可以有效减少堆场面积,而且通常不会产生大量的余水

排放问题<sup>[1,25,38]</sup>,而在我国由于工程经费偏高等原因这方面的研究还没有得到应有的重视。

(2) 疏浚过程中细颗粒的悬浮问题 疏浚效果不仅取决于挖泥设备和人工操作,还受外界工况条件如风、水流、水下泥质等的制约<sup>[23,24]</sup>。任何对湖底沉积物的干扰(自然过程和人类活动)都能引起细颗粒的再悬浮<sup>[40,41]</sup>。绞吸式挖泥船的挖掘能力与输送能力是由船舶设备机械性能决定的,如果水下泥层土质较软,疏挖量大,这时由于输送能力的限制,部分泥土不能完全被吸入、输送,水下将会滞留部分泥土,同时增加泥浆扩散,造成浅点和污染水体。此外,经常观察到的漂浮输泥管连接处的泄漏是引起水体颗粒污染物增加的另一原因<sup>[23,26]</sup>。

(3) 疏浚后新生界面层的生物活化问题 疏浚结束后再悬浮到水中的沉积物和水体新生长的藻类等颗粒物开始回淤,加之疏浚中底泥的漏挖,部分带有活性淤泥生态特征的原表层淤泥与疏浚后新形成的泥水界面层交混在一起,为该层沉积物的活化提供接种和微生物物种保留,从而使新生表层沉积物在较短时间内“接种式”地得到生物活化,从而使疏浚后的表层沉积物很快地转变为与原来沉积物性质接近的状态<sup>[22]</sup>。此外,在风浪作用下,疏浚后新的表层沉积物可能会形成新的流塑态沉积物层<sup>[42]</sup>。这些都要在工程实施中引起足够重视。

(4) 堆场设计、余水处理、底泥回淤及疏浚底泥资源化没有引起足够的重视 污染底泥堆场和余水排放是河道底泥生态疏浚的重要环节。由于观念和经费紧张等原因,国内城市河道底泥生态疏浚工程的堆场设计基本上沿用了工程疏浚堆场的设计方法和参数,对余水水质控制也很少采取必要的处理措施,往往容易造成二次污染。此外,对疏浚底泥的无害化处理及资源化仍然没引起足够的重视<sup>[1,25,38]</sup>。另外,疏浚结束后,由于风浪和水流作用引起流动,使得非疏浚区易悬浮沉积物(稀泥层)将向疏浚区传输,形成底泥的回淤,严重时会导致疏浚不成功。再者,如果外源没有得到有效控制,也可能引起疏挖区污染沉积物的再次累积<sup>[16]</sup>。

(5) 底泥生态疏浚方案研究不力,缺乏关键技术支持 我国的城市河道底泥疏浚工程多为单纯地从内源污染控制角度出发,而很少考虑到生态恢复要求,对如何科学地确定疏浚方法和重要疏浚参数存在着认知上的误区及缺乏关键技术支持<sup>[1,25,38]</sup>。

(6) 没有建立必要的生态风险评价指标体系与评价方法 目前,国内几乎所有的疏浚工程都没有开展对疏浚区水体生态系统重建的影响研究,也未建立必要的生态风险评价体系,因此不可能定量分析疏浚工程对生态环境的影响程度。

(7) 城市河道底泥生态疏浚治理费用昂贵 底泥生态疏浚的费用是相当惊人的,像五大湖的 Hamilton 湾<sup>[39]</sup>,其污染中心区就需 2 000 万美元,全部治理要 40 亿美元。而疏浚底泥的后续资源化处理费用甚至比疏浚费用还高,如 Hamilton 湾的疏浚费用大约是达到 70 美元/ $\text{m}^2$ ,而底泥的生化处理费用要 350 美元/ $\text{m}^2$ ,焚烧方案的费用竟超过了 500 美元/ $\text{m}^2$ 。因此进行底泥生态疏浚的范围和规模是十分有限的,从而影响了疏浚技术的应用。

城市河道水体的生态疏浚技术是运用发展生态理论实施的生态修复工程,以工程、环境、生态相结合来解决城市河道水体的可持续发展问题,通过底泥的疏挖最大可能地将储积在底泥沉积层中的污染营养物质移出水体以外,清除污染水体的内源,改善水生态循环,遏制河道稳定性的退化,并为水生生态系统的恢复创造条件。生态疏浚技术具有见效快、能够迅速增加河道水体容量、提供河流过水能力及夹沙能力等优点,其先进性充分体现在生态修复工程方面,在重污染区、水源地等局部区域,即符合无风险环保安全要求的场地,于最佳施



工期(生物休眠期)进行的清洁生产工艺,注重生物多样性和物种保护,疏浚后基底能够为后续生物修复创造条件。因此,尽管该技术存在费用较高、疏挖深度精确控制较难、技术应用时间较短等缺点,但仍不失为一项高效、环保、新兴的河道内源污染控制技术。

### [参 考 文 献]

- [1] 郑金秀,胡春华,彭祺,等.底泥生态疏浚研究概况[J].环境科学与技术,2007,30(4):111-114.  
ZHENG J X, HU C H, PENG Q, et al. Ecological dredging of sediments [J]. Environmental Science and Technology, 2007, 30(4): 111-114.
- [2] 柳惠青.湖泊污染内源治理中的环保疏浚[J].水运工程,2000,322(11):21-27.  
LIU H Q. Environmental-protection dredging in treatment of lake pollution internal cause [J]. Port & Waterway Engineering, 2000, 322(11): 21-27.
- [3] 陈荷生,石建华.太湖底泥的生态疏浚工程——太湖水污染综合治理措施之一[J].水资源保护,1998(3):11-16.  
CHEN H S, SHI J H. The ecological dredging of sediments in Taihu Lake [J]. Water Resources Protection, 1998 (3): 11-16.
- [4] 钱嫦萍,王东启,陈振楼,等.生物修复技术在黑臭河道治理中的应用[J].水处理技术,2009,35(4):13-17.  
QIAN C P, WANG D Q, CHEN Z L, et al. Progress of bioremediation for controlling blackening and stink of rivers [J]. Technology of Water Treatment, 2009, 35(4): 13-17.
- [5] 黄民生,徐亚同,戚仁海.苏州河污染支流——缓宁河生物修复试验研究[J].上海环境科学,2003,22(60):384-389.  
HUANG M S, XU Y T, QI R H. In situ bioremediation of seriously polluted Sui-ning Creek [J]. Shanghai Environmental Sciences, 2003, 22(60): 384-389.
- [6] 黄燕,黄民生,徐亚同,等.上海城市河道治理工程简介[J].环境工程,2007,25(2):85-88.  
HUANG Y, HUANG M S, XU Y T, et al. Brief introduction to urban river pollution purification and ecological restoration in Shanghai[J]. Environmental Engineering, 2007, 25(2): 85-88.
- [7] 王卫.河道疏浚技术在郊区河道整治中的应用,标准化[J],2006(1):20-23.  
WANG W. The application of dredging technology in the suburb river realignment [J]. Standardization, 2006 (1): 20-23.
- [8] 陈荷生,张永健,宋祥甫,等.太湖底泥生态疏浚技术的初步研究[J].水利水电技术,2004,11(35):11-13.  
CHEN H S, ZHANG Y J, SONG X F, et al. Preliminary study of sediment eco-dredging engineering in Taihu Lake[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2004, 11(35): 11-13.
- [9] 马万忠,李效虎,李永远.湖泊底泥环境疏浚技术探讨[J].黄河水利职业技术学院学报,2005,17(2):11-13.  
MA W Z, LI X H, LI Y Y. The research of sediment environmental dredging technology in lakes [J]. Journal of Yellow River Conservancy Technical Institute, 2005, 17(2): 11-13.
- [10] 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,2003,34(12):47-49.  
MO X C, YANG K, YUAN D Y. The brief analysis of sediment environmental dredging in lakes [J]. Yangtze River, 2003, 34(12): 47-49.
- [11] SEBETICH M J, FERRIERO N. Lake restoration by sediment dredging [J]. Verh Internat Verein Limnol, 1997, 26(2): 776-781.
- [12] OTIS M J. Massachusetts Dredging/disposal of PCB Contaminated Sediments [C]// Dredging Proceeding of the Second International Conference on Dredging or Dredged Material Placement. New York: American Society of Civil Engineers, 1994(1): 579-587.
- [13] JOSHUA C. Results of contaminated sediment cleanups relevant to the hudson river [J]. Scenic Hudson; 9 Vassar Street Poughkeepsie, NY 12601, 2000.
- [14] BRET C. Effects of suction dredging on sreeams: A review and evaluation strategy [J]. Fisheries Habitat, 1998,

23(8): 8-14.

- [15] FAN C X, ZHANG L, WANG J J, et al. Processes and mechanism of effects of sludge dredging on internal source release in lakes [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(17): 1853-1859.
- [16] 李金贵, 李进军, 杨建华, 等. 污染底泥精确疏浚技术[J]. 中国港湾建设, 2004, 133(6): 11-14.  
LI J G, LI J J, YANG J H, et al. Technology for accurate dredging of contaminated subsoil [J]. China Harbour Engineering, 2004, 133(6): 11-14.
- [17] 李英杰, 胡小贞, 年跃刚, 等. 环保疏浚新疏挖工艺[J]. 中国农村水利水电, 2010(2): 13-16.  
LI Y J, HU X Z, NIAN Y G, et al. The new technology of environmental dredging[J]. China Rural Water and Hydropower, 2010(2): 13-16.
- [18] 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, 26(3): 189-192.  
YAN C Z, FAN C X, YANG J H, et al. Prospect and progress of the study on environmental dredging technology of lake sediment[J]. Environmental Pollution & Control, 2004, 26(3): 189-192.
- [19] 刘鸿亮, 金相灿, 荆一凤. 湖泊底泥环境疏浚工程技术[J]. 中国工程科学, 1999, 1(1): 81-84.  
LIU H L, JIN X C, JING Y F. Environmental dredging technology of lake sediment [J]. Engineering Science, 1999, 1(1): 81-84.
- [20] FALCAO M. Short-term environmental impact of clam dredging in coastal waters (south of Portugal): chemical disturbance and subsequent recovery of seabed [J]. Marine Environmental Research, 2003, 56(5): 649-664.
- [21] VANDERDOSE J, VERSTRAELEN P, BOERS P, et al. Lake restoration with and without dredging of phosphorus-enriched upper sediment layers [J]. Hydrobiology, 1992, 233(1-3): 197-210.
- [22] NARIYUKI T. The effect of bottom sediment dredging and arrange the aquatic vegetation field use the dredged soil at the lake Sanarul [C]// The 9th International Conference on the Conservation and Management of Lakes, Session 3-1. Shiga (Japan): ILEC, 2001: 425-428.
- [23] JENKINS S R, BRAND A R. The effect of dredge capture on the escape response of the great scallop, *Pecten maximus* (L.): Implication for the survival of undersized discards [J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2001, 266: 33-50.
- [24] JULIE A. Effects of dredging on undersized scallops [J]. Fisheries Research, 2002, 56: 155-165.
- [25] BOYD S E. Preliminary observations of the effects of dredging intensity on the recolonisation of dredged sediments off southeast coast of England (Area 222) [J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2003, 57(1-2): 209-223.
- [26] LEWIS M A. Dredging impact on an urbanized florida bayou: effects on benthos and algal periphyton [J]. Environmental Pollution, 2001, 115: 161-171.
- [27] 张锡辉. 水环境修复工程学原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 80-94.  
ZHANG X H. The Principle and Application of Engineering in Water Environmental Restoration [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 80-94.
- [28] OGAWA H. Water-purification measures within lakes [C]//Proceedings of 6th International Conference on the Conservation & Management of Lakes-Kasumiganrd 95, 1995: 859-863.
- [29] OGIWARA K, FUJISAWA T, KOHARA S, et al. The purification of Lake Suwa (dredging)[C]//Proceedings of 6th International Conference on the Conserv & Manag of Lake-Kasumigaura, 1995.
- [30] 张凤霞. 环保疏浚在我国的应用前景[J]. 中国水利, 2004 (11): 23-25.  
ZHANG F X. Application prospects of dredging for environment protection in China [J]. China Water Resources, 2004 (11): 23-25.
- [31] 王栋, 孔繁翔, 刘爱菊, 等. 生态疏浚对太湖五里湖湖区生态环境的影响[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 263-268.  
WANG D, KONG F X, LIU A J, et al. Analysis of the influence of the ecological dredging to ecosystem of Lake Wuli Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(3): 263-268.
- [32] 范成新, 张路, 王建军, 等. 湖泊底泥疏浚对内源释放影响的过程与机理[J]. 科学通报, 2004, 49(15): 1523-1528.  
FAN C X, ZHANG L, WANG J J. The process and principle of influence from lake sediment dredging to sediment

- releasing [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1523-1528.
- [33] 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.  
PU P M, WANG G X, HU C H, et al. Can we control lake eutrophication by dredging? [J]. Journal of Lake Science, 2000, 12(3): 269-279.
- [34] 陆子川. 湖泊底泥挖掘可能导致水体氮磷平衡破坏的研究[J]. 中国环境监测, 2001, 17(2): 40-42.  
LU Z C. Study on digging up the lake sediments which may lead to destroying the balance of nitrogen and phosphorus in water [J]. Environmental Monitoring in China, 2001, 17(2): 40-42.
- [35] 邢雅园, 阮晓红, 赵振华. 城市河道底泥疏浚深度对氮磷释放的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2006, 34(4): 378-382.  
XING Y N, RUAN X H, ZHAO Z H. Effects of depth of sediment dredging in urban rivers on release of nitrogen and phosphorus [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2006, 34(4): 378-382.
- [36] 吴洁, 虞左明. 西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应[J]. 中国环境科学, 2001, 21(6): 540-544.  
WU J, YU Z M. The succession of phytoplankton and the ecological effects of eutrophication control measures in Hangzhou West Lake [J]. China Environmental Science, 2001, 21(6): 540-544.
- [37] 王小雨, 冯江, 李贺. 底泥疏浚前后长春南湖浮游生物群落变化研究[J]. 东北师范大学学报(自然科学版), 2005, 37(3): 90-94.  
WANG X Y, FENG J, LI H. Research on variety of plankton community prior and post sediment dredging in Nanhu Lake, Changchun [J]. Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition), 2005, 37(3): 90-94.
- [38] 李进军. 污染底泥环保疏浚技术[J]. 中国港湾建设, 2005, (6): 46-65.  
LI J J. Technology for environmental dredging of contaminated bottom silt [J]. China Harbour Engineering, 2005, (6): 46-65.
- [39] MUSHY T P, LMWSON A, KMNAGAI M, et al. Review of emerging issues in sediment treatment [J]. Aquatic Ecosystem Health & Management, 1999(2): 419-434.
- [40] NAYAR S, MILLER D J, HUNT A, et al. Environmental effects of dredging on sediment nutrients, carbon and granulometry in a tropical estuary [J]. Environ Monitor Assess, 2007, 127: 1-13.
- [41] 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.  
ZHONG J C, FAN C X. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(1): 1-10.
- [42] BACHMANN R W, HOYER M V, CANFIELD D E. Internal heterotrophy following the switches from macrophysics to algae in Lake Apopka, Florida [J]. Hydrobiology, 2000, 418: 217-227.