

# 河湖内源污染控制技术研究 现状及疏浚效果差异浅析

文 / 席银 刘宇 周毅刚 常月 王雪松 黄涛

简述河湖内源污染控制技术，并主要从生态疏浚的技术流程、技术原理、技术特点、技术使用中存在的问题以及效果差异的原因分析等方面，简要介绍了底泥生态疏浚技术的基本方法，以期能为我国城市河道底泥污染控制工程提供技术借鉴和参考。

## 一、前言

随着中国经济快速发展和城市化进程加速，城市河湖水环境污染问题愈加突出。据统计，我国 80% 以上的河湖水环境均受到了不同程度污染，其中很多都出现了季节性或常年性的水体黑臭现象和水质不达标问题。随着国家对环境保护的逐步重视，以及相关标准及政策颁布和实施，河湖水环境综合整治已经成为水行业最为热点工程之一。河湖污染治理主要包括外源污染阻断和内源污染控制，其中底泥疏浚是内源污染治理的主要措施之一。利用底泥疏浚技术对河湖污染进行治理的工程实例较多，国内如上海市苏州河、云南滇池草海、太湖等，国外如瑞典的 Tummen 湖、美国的 New Bedford 港等。就疏浚而言，又可分为水利疏浚和生态疏浚。生态疏

浚主要是清除底泥表层的有机质、磷、氮等污染物的富集层，降低底泥中污染物的释放能力和风险，将大部分富含污染物的底泥清除河道水体；水利疏浚的主要目的是疏通河道，增加河道行洪能力。据了解，在以往失败的流域治理案例中，内源污染未能有效控制是导致其失败的主要原因之一，如何有效削减内源释放是河湖水环境治理工程成功与否的关键之一。本文着重从内源控制技术研究现状和生态疏浚的效果差异出发，介绍生态疏浚设计流程和疏浚的效果差异原因，以期能为我国城市河道底泥污染控制工程提供技术借鉴和参考。

## 二、河湖内源污染控制的技术

1. 内源污染控制技术研究现状  
随着河湖外源污染控制措

施的逐渐完善，内源污染控制技术逐渐成为专家和学者的研究热点，提出的内源污染控制理论和方法较多，依据对污染底泥是否移动将内源污染控制技术分为原位控制技术和异位控制技术。原位控制技术可分为原位钝化技术、原位覆盖技术和生物修复技术，原位覆盖技术是通过控制底泥 - 水界面的传输通道，进而削减内源污染对上覆水污染物浓度的贡献。根据污染物进行针对性实验，确定材料、厚度、毒性等和特定生态环境影响评价。原位钝化技术是通过针对底泥中的特定污染物，通过注射或撒入特定的钝化剂 / 稳定剂，削弱污染物的迁移能力，最终达到削弱其释放能力的目标。生物修复技术是通过向污染底泥投加具有特定能力的微生物、植物或动物，通过其自身的吸附、降

解和转化作用，达到消除污染底泥的目的。其根据实施方式分为原位、异位和联合修复，其均有需进一步改善之处。

异位控制技术是通过将河湖底泥清出河湖，根本上削减河湖底泥污染物释放源头，进而消除或削减河湖内源污染物释放对上覆水体污染物含量的贡献。底泥疏浚是异位控制技术的主要技术之一，也是当前河湖水环境治理的最为主要的内源污染控制手段。生态清淤是通过清除底泥污染层，并尽量降低对河湖原有生态结构影响，达到控制内源污染释放和改善水质的目地。生态疏浚则侧重于考虑疏浚区水生生态系统本身，需要为其水生生态系统的重建创造条件，因此在疏浚位置、疏浚有效深度、疏浚工艺设备等都需要明确的考量。同时，为着重避免疏浚后的底泥造成的二次污染问题，需要根据底泥的污染性质对其做特殊处理。疏浚底泥在土地、农业、建材等方面的资源化利用已小有成效，作为今后的发展方向，其蕴含的潜在利用价值巨大。但不得不说的是，目前国内的生态疏浚技术与国外的技术水平相对差距较大，由于技术方面的差异，疏浚手段在治理国内的许多水质污染案例中效果并非十分明显，况且由于工程费用较高，基本设备落后等诸多方面的因素，生态疏浚技术在国内的运用及推广受到一定的限制。

## 2. 生态疏浚技术概述

上世纪 90 年代，我国实施

表 1 河湖生态清淤与水利清淤的区别

项目	生态疏浚	水利疏浚
生态要求	为水生植物恢复创造条件	无
工程目标	清除底泥污染层	增加水体容积、维持航运深度
边界要求	按污染物含量拐点确定	底面平坦，断面规则
疏浚深度	<1.0m	>1.0m
颗粒物扩散限制	尽量避免扩散和再悬浮	无
施工精度	5cm	20-30cm
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、风险评估	一般控制
底泥处理	依据泥、水污染性质处置	泥水分离后堆置
尾水排放	处理达标排放	未处理
河床修复	滩池改造、微生物再造和基质改良	无要求

首例大型水域生态疏浚工程—滇池草海污染底泥疏挖及处置工程（I期）实施，标志着生态清淤正式作为内源污染控制的成熟技术手段，同时也取得了宝贵的经验、数据和示范效应。随后在 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；西安兴庆湖、南京玄武湖和安徽巢湖等也进行了底泥疏浚工作。生态清淤相对于水利清淤有着明显的不同（见表 1），它是河道生态系统中底泥受到污染的前提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、生态相结合的方式解决城市河道水体的可持续发展或称河道“生态位”修复。该技术的核心是注重河湖原有生物多样性的保护，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提供有利条件。

生态疏浚方式可分为干法

疏浚和带水疏浚，干法疏浚适用于雨源型河流和小水量河流，主要是直接挖掘或者是围堰导流后挖掘，其疏浚的底泥含水率一般较低。带水疏浚适用于大流量的河道内源污染治理，疏浚底泥含水率较高。两者的区别在于疏浚底泥的含水量及后续设计单元不同，带水疏浚的底泥量大，在运输和进行下一步处置时，需要进一步脱水，并对余水进行处理后达标排放。底泥含水率是进行下一步处理处置的关键影响因子，而底泥如何高效率脱水是目前技术设计和工程实施的难题之一，也是降低工程成本的有效途径之一。

生态疏浚的核心技术指标包括：疏浚范围及深度设计、疏浚形式及配套技术、施工方式设计、清淤设备选定、堆场的余水处理、隔离防范设计、疏浚底泥处置和清淤后河底基质修复设计等。常规的生态疏浚工艺流程图见图 1。

### 三、生态疏浚效果差异原因分析

#### 1. 疏浚范围及深度确定

河湖疏浚方案设计首先要考虑河道底泥污染特性和范围，其一般从现场调研摸排和采样检测着手，且主要以底泥检测数据作为方案设计的主要依据，因此科学设置取样点和准确获得检测数据是确定疏浚范围和深度的关键。河湖底泥的污染物是随着水力条件变化和经过复杂的物理化学生物过程而沉积的产物，其分布极不均匀且毫无规律。通过密集底泥采集测试可以获得污染底泥的准确分布，但其成本太高，在实际工程不可考虑，疏浚范围难以精确。

疏浚深度是生态疏浚的核心参数，其能直接影响疏浚工程量及疏浚底泥处置方式。其需要根据河道水文水质特征、底泥分布情况、底泥污染物含量及垂直分布特征等诸多参数进行系统分析、评估来确定。实际工程设计中，一般依据底泥污染物含量垂直分布来确定其疏浚深度，但由于河道污染底泥一般有多种污染物同时超标，且垂向分布的变化趋势又各不相同，难以确认准确、合适的疏浚深度。同时含量变化特征与底泥污染物释放特征相关性不强，底泥中污染物含量高低不能完全代表污染物的释放速率，高含量的污染物不一定释放或者释放快。而利用垂向分层取样进行实际条件下的模拟释放试验的经济和时间成本太高，并且实际情况下得到的释放数据是一个平均值，保守设计将

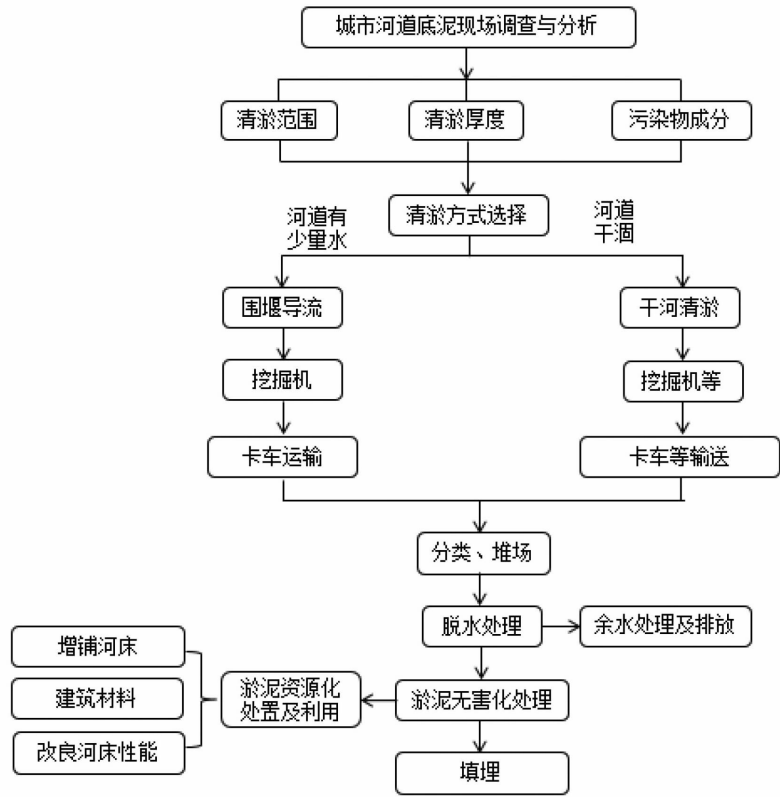


图 1 生态清淤设计工艺示意图

带来超量设计和大量疏浚底泥处置的难题。

#### 2. 工程实施质量

河道疏浚效果不明显，除了疏浚条件不成熟外，以水利清淤代替生态清淤也是一个很重要的原因。我国底泥疏浚设备研制落后，多采用常规清淤设备，施工过程中易造成底泥剧烈扰动，造成细颗粒物悬浮现象严重。在带水疏浚连接管泄露是引起水体颗粒污染物的另一个原因，当然在干法疏浚的过程中不会出现此种现象。常规疏浚设备的垂直精度只能控制在 10~20cm，在实际疏浚过程中经常出现漏挖、欠挖和超挖，漏挖和欠挖是部分治理工程疏浚一段时间后水质变

差的主要原因之一，具体原因是在疏浚后原上层底泥在新生界面上的残留将使新生表层底泥在较短时间内“如接种式”地得到生物活化，而新生底泥含有丰富的营养物质，进而使得底泥释放速率进一步得到解放，最终使得水质恶化。疏浚的漏挖和欠挖是疏浚设备精度不足而导致的另一影响疏浚效果的因素。超挖对生态系统构建影响也较大，特别是河湖土著微生物和其它生物的影响。

### 四、建议及展望

我国幅员辽阔，河流湖泊众多，大多数都受到不同程度的污染，加强对未受干扰河流的保护



和对已受破坏河流进行生态修复已迫在眉睫。从目前国内研究情况来看,河湖的生态疏浚作为主要的内源污染控制手段,虽取得一定成就,但仍处于探索阶段,针对我国实际情况提出以下发展建议:(1)在国家或地方层面加快建设底泥污染与否完整的评判和风险评价体系,为河湖内源污染控制提供依据;(2)加强生态清淤的专用设备研发和引进,提升疏浚工程质量,降低底泥处置量,提升竞争力;(3)当前研究和工程实践大多偏重于河流水质的改善和达标,应加强对河流生态系统结构和功能修复的考察;(4)应综合修复方法、河流健康评价体系、生态需水量以及修复标准等多个方面,构建起一套完整的河流生态修复模型,来指导具体工程建设。

生态疏浚产生的疏浚底泥是一种很有利用价值的潜在资源,对疏浚底泥进行处理,并最终进行资源化利用,是今后疏浚底泥治理的主流方向。国家应对其提供相应的资金支持,并对有关产业进行高度关注,扶持相关产业的发展。内源污染生态疏浚技术符合我国的可持续发展战略,为我国的水资源科学发展提供了一条新的发展道路。(作者单位:北京桑德环境工程有限公司)

#### 参考文献

- 1.曹承进,陈振楼,王军,等.城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展[J].华东师范大学学报(自然科学版),2011,2011(1):32-42.
- 2.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.
- 3.黄民生,徐亚同,戚仁海.苏州河污染支流——绥宁河生物修复试验研究[J].水处理信息报导,2004(2):62-62.
- 4.金相灿,荆一凤,刘文生,等.湖泊污染底泥疏浚工程技术——滇池草海海底泥疏挖及处置[J].环境科学研究,1999,12(5):9-12.
- 5.Harrison S P, Digerfeldt G. European lakes as palaeohydrological and palaeoclimatic indicators [J]. Quaternary Science Reviews, 1993, 12(4):233-248.
- 6.Latimer J S, Boothman W S, Pesch C E, et al. Environmental stress and recovery: the geochemical record of human disturbance in New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts (USA) [J]. Science of the Total Environment, 2003, 313(1-3):153-176.
- 7.贾海峰,马洪涛.城市河湖底泥疏浚对水生态的影响分析与对策探讨[J].北京水务,2006(1):48-51.
- 8.钟继承,刘国锋,范成新,等.湖泊底泥疏浚环境效应:Ⅳ.对沉积物微生物活性与群落功能多样性的影响及其意义[J].湖泊科学,2010,22(1):21-28.
- 9.薄涛,季民.内源污染控制技术的研究进展[J].生态环境学报,2017,26(3):514-521.
- 10.Zhong J C, You B S, Fan C X, et al. Influence of Sediment Dredging on Chemical Forms and Release of Phosphorus [J]. PEDOSPHERE(土壤圈(英文版)), 2008, 18(1):34-44.

- 11.贾陈蓉,吴春芸,梁威,等.污染底泥的原位钝化技术研究进展[J].环境科学与技术,2011,34(7):118-122.
- 12.虞洋,梁峙,马捷,等.底泥修复技术方法和应用前景[J].环境科技,2014(1):3-5.
- 13.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.
- 14.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,2004,35(11):11-13.
- 15.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.
- 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,2003,34(12):47-49.
- 17.刘学武.城市河道黑臭水体暨污染底泥治理技术及标准探讨[J].中国标准化,2017(24).
- 18.方芳芳,沈昆根.城市河湖生态清淤研究进展[J].信息系统工程,2012(6):142-143.
- 19.赵海超,王圣瑞,焦立新,等.洱海沉积物有机质及其组分空间分布特征[J].环境科学研究,2013,26(3):243-249.
- 20.周根娣,吴静波.运河(杭州段)底泥污物含量分布调查[J].环境污染与防治,2001,23(1):36-39.]
- 21.杨白露.基于底泥污染物释放规律的环保疏浚技术研究[D].重庆交通大学,2014.