

# 黑臭水体底泥污染源调查及污染特性评价方法研究

龙佳,张宁,崔佳

(湖南省建筑设计院有限公司,湖南长沙 410000)

**摘要:**主要对黑臭水体底泥疏浚工程中的污染源调查要点、污染特性评价方法和污染物控制指标选取方法进行了阐述。在实际工程中,可参考该研究中的技术思路,在科学开展工程勘测、污染物检测的基础上,选取合理的污染特性评价方法进行底泥污染评价,确定底泥的污染程度和污染分布特征,并根据相应污染物控制指标,更为科学合理地制定黑臭水体底泥疏浚方案,实现环保、精准清淤的目的。

**关键词:**黑臭水体;底泥;污染源调查;底泥污染特性评价;控制指标选择

中图分类号: X 52

文献标志码: B

文章编号: 1009-7767(2018)06-0171-03

## Study on Pollutant Investigation and Characteristics Evaluation of Black and Odorous Water Substrate Sludge

Long Jia, Zhang Ning, Cui Jia

国务院颁布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)提出了“到 2020 年,地级及以上城市建成区黑臭水体控制在 10%以内,到 2030 年,城市建成区黑臭水体总体得到消除”的控制性目标。为了做好黑臭水体治理工作,住房和城乡建设部先后推出《城市黑臭水体整治指南》和《城市黑臭水体整治——排水口、管道及检查井治理技术指南(试行)》,明确了黑臭水体整治的根本思路及办法。

从“水十条”到“河长制”、“湖长制”的严格落实,城市黑臭水体整治已经成为改善城市人居环境工作的重要内容之一。但是,解决水体黑臭问题是一项复杂的系统性工程,除了主要的控制措施如面源控制、截污纳管、生态修复等外,污染底泥的处理也是根治水体黑臭问题的前提条件和关键环节。

污染物进入水体后易沉积到底泥中并逐渐富集,使底泥受到污染;同时,底泥中的污染物由于富集时间长,也会向上层水体进行释放;一旦水体中污染物受到一定的扰动,底泥中的污染物释放量就会随之增加,造成水体的二次污染。因此,若想从根本上解决水体黑臭问题,必须对污染底泥进行治理。

在治理黑臭水体污染底泥之前,需进行大量的前期工作确认水体底泥的污染程度,确认开挖深度,为后续处理提供理论依据。

### 1 污染源调查及泥质分析

在进行黑臭水体底泥疏浚治理之前,应进行水体和底泥产生黑臭的污染源调查及成因分析,包括向当地环保局、群众进行咨询以及进行资料调查和实际踏勘等,确定可能的污染物类型和污染状况。

在设计阶段,除了对水体勘探点进行布置和对污染源进行调查外,还应编制底泥采样和污染物检测方案,并对底泥进行取样和污染物分析。

#### 1.1 采样点布设要求

在采样点的布设上,应考虑以下要点:

1)对于河流应按照水流流向线性布设采样点,一般要求在河流上、中、下游布设采样点,对于长度小于 1 km 的河道可选取 1 个断面采样,长度大于 10 km 的河道可采用均分法增加采样断面;对于河面宽度小于 100 m 的河道设置 1 个采样点,超过 100 m 的河道可在距岸边 10 m 左右分别布设 2 个采样点。

2)对于湖泊、库塘等水面,宜采用随机网格布点法进行采样点布设,各水域至少设置 3 个点位。

#### 1.2 取样要点

底泥样品应在前期调查的基础上,根据底泥实际淤积厚度、污染程度确定取样方法,优先采用分层取样法采集柱状样,确保污染底泥层、过渡层和正常泥层均能取样检测。样品质量应视具体检测方案确定,一般

不宜少于 1 kg。

在底泥取样的同时,应对底泥感官性状指标进行现场鉴别。可用尺量、目测、手感等方法,确定底泥颗粒的组成及其特征,并对底泥颜色、气味、湿度、颗粒形状等特性进行描述和记录。

### 1.3 污染物检测

应结合污染源调查情况制定指标检测方案,综合对污染底泥进行物理、化学指标分析,查明工程区污染底泥泥质性质,以全面了解工程区泥质的污染程度和分布情况,为确定治理要点、选择治理技术提供依据,也为后续设计确定疏浚范围、深度以及疏挖量等提供依据。

底泥的指标主要分为:1)物理指标,包括底泥质地、含水率等;2)化学指标,包括有机质、营养盐(TN、TP、氨氮)、氰化物、氟化物、重金属(常见 8 种)和有毒有害类有机物等;3)生物指标,主要包括粪大肠菌群菌值、蛔虫卵死亡率等;4)水质指标,包括 pH 值、COD、BOD、TN、TP、溶解氧、透明度、氧化还原电位等。各样品应进行不少于 2 组实验。

## 2 底泥污染特性评价方法及控制指标的选择

根据底泥中主要污染物类型和含量,大致可将污染底泥分为有毒有害有机污染底泥、重金属污染底泥和高氮、磷营养盐污染底泥 3 类。

### 2.1 有毒有害有机污染底泥和重金属污染底泥污染评价

湖南是“有色金属之乡”,涉重企业较多,重金属污染较为严重,其中以砷、镉等重金属污染为主。有毒有害有机污染评价方法主要为土壤污染指数法;重金属污染评价方法主要有土壤污染指数法、潜在生态风险指数法和地累积指数法 3 种。

#### 1) 土壤污染指数法(单项指数法)

《全国土壤污染状况调查公报》等文件中多采用污染指数法划分污染等级。其中,土壤污染程度多被分为 5 级:污染物含量未超过其标准的,为无污染;在 1~2 倍(含)之间的,为轻微污染;在 2~3 倍(含)之间的,为轻度污染;在 3~5 倍(含)之间的,为中度污染;5 倍以上的,为重度污染。

某污染物的污染指数:

$$C_{f,i} = C_{s,i} / C_{n,i} \quad (1)$$

式中: $C_{f,i}$  为重金属  $i$  相对于评价参比值的污染指数; $C_{s,i}$  为重金属  $i$  的实测含量; $C_{n,i}$  为重金属  $i$  的评价参比值。

#### 2) 潜在生态风险指数法

潜在生态风险指数法是根据重金属的性质和环境行为特点,从沉积学角度<sup>[1-4]</sup>提出的对重金属污染进

行评价的方法。该方法在考虑重金属含量的基础上,综合考虑了多种重金属元素协同作用、毒性水平以及环境对重金属污染敏感性等因素。朱嵬等<sup>[5]</sup>利用潜在生态风险指数法对宁夏黄河流域底泥进行了生态风险评价,通过调查 9 种重金属含量与富集的实际情况,对应相应的背景值对其进行了探讨,并得出相应的结论。

单一重金属潜在生态风险指数:

$$E_{r,i} = T_{r,i} / C_{f,i} \quad (2)$$

多种重金属潜在生态风险指数:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_{r,i} = \sum_{i=1}^n T_{r,i} / C_{f,i} \quad (3)$$

式中: $E_{r,i}$  为重金属  $i$  的潜在生态风险指数; $RI$  为多种重金属的环境风险综合指数; $C_{f,i}$  为重金属  $i$  相对于评价参比值的污染指数; $T_{r,i}$  为重金属  $i$  的毒性响应系数(反映重金属毒性水平和环境对重金属污染的敏感程度)。

各重金属的毒性响应系数见表 1,污染程度及生态风险分级标准见表 2。

表 1 重金属毒性响应系数表

重金属	砷	镉	汞	铅	铬	镍	铜	锌
毒性响应系数	10	30	40	5	2	5	5	1

表 2 污染程度及生态风险分级标准表<sup>[6-7]</sup>

单一重金属潜在生态风险指数 $E_{r,i}$		多种重金属的环境风险综合指数 $RI$	
阈值区间	程度分级	阈值区间	程度分级
$E_{r,i} < 40$	轻微生态风险	$RI < 150$	轻微生态风险
$40 \leq E_{r,i} < 80$	中等生态风险	$150 \leq RI < 300$	中等生态风险
$80 \leq E_{r,i} < 160$	较高生态风险	$300 \leq RI < 600$	较高生态风险
$160 \leq E_{r,i} < 320$	很高生态风险	$600 \leq RI < 1200$	很高生态风险
$E_{r,i} \geq 320$	极高生态风险	$RI \geq 1200$	极高生态风险

#### 3) 地累积指数法<sup>[8]</sup>

地累积指数的计算式为:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_i}{K \cdot B_n} \quad (4)$$

式中: $C_i$  为底泥中重金属元素的实际含量,mg/kg; $B_n$  为当地底泥中该重金属元素的化学背景值; $K$  为考虑各地底泥差异会引起背景值的变化而取的系数(一般取值 1.5)。

Forstner 等<sup>[8]</sup>提出  $I_{geo}$  与其污染程度对应关系见表 3。

### 2.2 高氮、磷营养盐污染底泥污染评价

氮、磷污染物易于在底泥和上覆水间发生交换,通常,对高氮、磷污染底泥的污染程度评价,多结合工程

表3 地累积指数法分级标准

项目	清洁	轻度污染	偏中度污染	中度污染	偏重度污染	重度污染	严重污染
$I_{geo}$	$\leq 0$	0~1	1~2	2~3	3~4	4~5	>5
级数	0	1	2	3	4	5	6

区水体的具体水质要求,采用吸附-解吸平衡法进行确定。

其具体工作步骤为:

1)测定工程区底泥中的TN、TP、氨氮及易解吸无机磷含量,通过吸附-解吸实验求出底泥的吸附-解吸平衡点;

2)在实验数据量有一定基础且达到要求的情况下,可通过回归分析建立底泥营养盐含量与平衡点的回归方程;

3)根据工程区的具体水质等级要求或水体功能区的划分,结合回归方程,反推出水体达到上述水质要求时底泥中应有的氮、磷含量参考值;

4)将实际工程中底泥中的氮、磷含量与3)中得到的底泥中应有的氮、磷含量参考值进行对比,并进一步参考污染指数法确定底泥污染程度。

### 2.3 控制指标选择

工程区底泥的调查结果可以作为控制指标选择及环保疏浚范围确定的基础,利用底泥污染物的污染评价标准对底泥的污染状况进行评估,同时从经济可行性以及安全性的角度进一步确定环保疏浚范围。

为合理确定环保疏浚范围和疏浚方案,控制指标的选择应具有代表性,能够反映底泥污染特征,并重点关注对工程区水质有重大影响的指标;控制指标应有较多的实际调查资料作基础;同时,环保疏浚应以确保水体功能的实现为目标,优先考虑重点功能区域。

#### 1)底泥重金属土壤污染指数

采用土壤污染指数法进行评价时,工程区重金属污染底泥的环保疏浚控制值为土壤污染指数 $\leq 1$ 。

#### 2)底泥重金属潜在生态风险指数

采用潜在生态风险指数法进行评价时,工程区重金属污染底泥的环保疏浚控制值为潜在生态风险指数 $\leq 300$ 。

#### 3)底泥重金属地累积指数

采用地累积指数法进行评价时,工程区重金属污染底泥的环保疏浚控制值为地累积指数 $\leq 1$ 。

#### 4)底泥营养盐含量

不同湖泊、河流的高氮、磷污染底泥环保疏浚控制

值是不同的,结合吸附-解吸平衡法分析结果,以工程区水体达到相应地表水质标准或水体功能区划分所要求水质为目标,反推出底泥中氮、磷含量限值。例如,太湖高氮、磷污染底泥环保疏浚控制值反推结果为:TN含量 $\geq 1627$  mg/kg,TP含量 $\geq 625$  mg/kg。

#### 5)底泥厚度

疏浚层的底泥厚度应根据工程区底泥分布特征和疏浚工程的施工技术条件综合确定。既应达到清除内源污染物的目的,也要避免伤及底层无污染泥层,并综合考虑水生植物的生长和有利于生态修复等问题。

### 3 结语

笔者对黑臭水体底泥在疏浚过程中采样点的布设要点、底泥取样检测要点以及底泥污染特性评价方法进行了系统的阐述,重点论述了底泥污染特性评价方法和污染物控制指标选取方法。在实际工程中,可参考该研究中的思路,在工程勘测、污染源调查及污染特性评价的基础上,更为科学、合理地制定黑臭水体底泥疏浚方案,实现环保、精准清淤的目的。

下一步工作应对黑臭水体底泥污染特性评价方法进行深入挖掘,确保评价方法能够切实用于实际工程,为科学合理地开展环保疏浚和进一步确定处理处置方式提供有效的依据。MET

### 参考文献:

- [1] 邱鸿荣,罗建中,郑国辉,等.西南涌流域底泥重金属污染特征及潜在生态危害评价[J].中国环境监测,2012,28(6):32-36.
- [2] 张凌,孙桃,冯佳崎,等.徐州云龙湖底泥重金属污染评价[J].四川环境,2013,32(3):34-37.
- [3] GORDON G E. Receptor models[J]. Environmental science and technology, 1980, 14(7):792-799.
- [4] LANTZY R T, MAIKENZIE F T. Atmospheric trace metals: global cycles and assessment of man's impact[J]. Geochim cosmochim acta, 1979, 43(4):511-525.
- [5] 朱嵬,李志刚,李健,等.宁夏黄河流域湖泊湿地底泥重金属污染特征及生态风险评价[J].中国农学通报,2013,29(35):281-288.
- [6] 张秀芝,鲍征宇,唐俊红.富集因子在环境地球化学重金属污染评价中的应用[J].地质科技情报,2006,25(1):65-72.
- [7] 段慧敏,朱丽东,李凤全,等.浙江省永康城市土壤重金属元素富集特征[J].土壤通报,2012,43(4):956-961.
- [8] FORSTNER U, AHLF W, CALINANO W. Sediment quality objectives and criteria development in Germany[J]. Water science & technology, 1993, 28(8):307-316.

收稿日期:2018-04-27

作者简介:龙佳,男,工程师,学士,主要从事给排水设计工作。