

环保疏浚底泥堆场污染物扩散防治研究

吕 鑑¹, 霍守亮¹, 荆一凤², 程 静³, 张 岩¹

(1. 北京工业大学 建筑工程学院 北京市水质科学与水环境恢复重点实验室, 北京 100022;

2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 北京水务局, 北京 100037)

摘 要: 为了使相关污染物扩散防治技术实用化, 本文系统地总结了环保疏浚堆场污染物的扩散方式, 从余水处理、堆场防渗、疏浚底泥的无害化处置等几个方面介绍了国内外底泥堆场污染物扩散的防治技术. 在太湖五里湖环保疏浚底泥堆场进行了生产性试验. 堆场的防渗利用太湖周边广泛分布的黏土作为防渗材料, 堆场周围5个监测点的监测水质在疏浚前后基本没有变化, 表明堆场黏土做防渗材料是可行的. 向输泥管投加絮凝剂, 在输泥管中快速混合, 在堆场中反应、沉淀; 向堆场出水投加絮凝剂, 通过隔板混合池快速混合, 折流反应池反应, 在沉淀池中沉淀, 2种方式都保证了排放余水 $\rho(\text{SS}) < 200 \text{ mg/L}$.

关键词: 环保; 疏浚; 余水处理; 污染物扩散; 底泥处理

中图分类号: X703

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2006)03-0229-06

环保疏浚是治理重污染水体的重要手段之一, 通过对污染底泥的疏浚, 清除了受污染水体的内污染源. 受污染底泥中累积了大量污染物, 通过泥浆泵叶轮打成泥浆输送到底泥堆场存放, 在这个过程中通过物理、化学和生物交换作用, 底泥中的污染物在适当条件会重新释放, 成为影响环境的潜在污染源^[1-2]. 本文系统地论述了国内外环保疏浚底泥堆场污染物扩散的控制技术, 并将相关技术应用到太湖五里湖环保疏浚底泥堆场污染物扩散防治, 进行了生产性试验.

1 底泥堆场的污染物扩散方式

疏浚堆场污染物的扩散方式主要包括: 疏浚期间和底泥干化过程中, 产生大量富含污染物的余水; 下雨产生的表面径流中溶解的污染物排入水体; 污染物向地下水的直接渗透^[3]和堆场围堰向外的侧渗; 挥发性污染物向空气中的挥发; 堆场及其附近动植物直接摄取后通过食物链循环累积^[4]. 这些污染物的扩散路径与污染底泥的特征以及堆场设计、疏浚实施过程中和疏浚实施后堆场的管理密切相关.

2 底泥堆场的污染物扩散防治

2.1 余水处理

余水中的污染物大部分是颗粒态或黏附在污泥细小颗粒上, 通过对余水中的悬浮颗粒的去除, 基本上可以控制余水的水质^[5]. 目前堆场的余水中悬浮物浓度的控制措施有: 强化堆场自然沉淀、间歇作业、加药促沉^[6]和过滤.

1) 强化堆场自然沉淀. 底泥堆场设计布置应有利于自然沉降, 排泥管远离堆场出水口, 延长水流在堆场中的路径, 同时在堆场中设置溢流堰和导流墙, 使得堆场像几个连续的沉淀池, 改善堆场的水力条件, 有利于颗粒的自由沉降, 同时也避免产生短流, 延长了水力停留时间, 强化了堆场的自然沉淀条件, 提高了颗粒在堆场中的沉淀效率.

收稿日期: 2004-10-12.

基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2002AA601013).

作者简介: 吕 鑑(1952-), 男, 江苏南京人, 教授.

2) 间歇作业. 间歇向堆场吹泥以延长余水在堆场中的停留时间即沉淀时间, 在施工后期, 对于一些没有设置后续余水处理设施的堆场来说, 这是一种有效的控制余水中悬浮物浓度的方法.

3) 加药促沉. 常用的加药促沉法有输泥管加药和堆场出水加药. 输泥管加药是通过加药泵将絮凝剂加入输泥管中, 药剂和泥浆快速混合, 然后在堆场中反应沉淀, 可以大大减少悬浮颗粒的沉淀时间. 堆场出水加药通过在堆场外设置混合、反应、沉淀装置, 实施余水的混凝沉淀处理.

4) 过滤. 在出水的位置设置过滤堰, 通过过滤堰去除余水中的悬浮物和部分溶解性污染物, 常用的过滤堰有上流式和下流式, 过滤堰的最大缺点是堵塞问题.

对于特殊的重污染底泥, 如受严重的重金属或难降解有机物污染的底泥, 释放到余水中溶解态的污染物不能随着余水中悬浮物的去除而去除, 必须考虑进一步的处理方法, 可以借鉴常规的工业废水和生活污水的处理方法.

2.2 表面径流和渗滤

疏浚工程结束后, 堆场上的水从表面排出, 污染的底泥将从厌氧变成好氧, pH 也会随之降低, 在低 pH 和好氧条件下, 底泥中的一些重金属和有机物更容易释放^[2], 降雨产生的表面径流将会溶解这些重金属和有机污染物, 如果不对表面径流进行有效的控制, 它将会携带污染物进入水体. 如果疏浚的底泥受到严重的重金属和有机污染, 在底泥干化期间, 需要考虑因降雨径流引起的污染物流入水体, 应采用合理的控制措施. 常用的措施包括在污染底泥表面栽植物稳定污泥防止流失; 在污染底泥表面覆盖 1 层未受污染的材料; 加石灰提高 pH 值; 将降雨产生的径流收集起来进行集中处理.

堆场渗滤主要是向地下水的渗滤和由堆场围堰向外侧渗. 常用的控制方法有在堆场底部加黏土或复合的垫层, 如果该地区没有黏土, 也可以铺土工布或土工膜; 可以通过化学稳定的方法来阻止污染物进入渗滤液, 如加石灰; 将污染底泥表面覆盖或栽植物减小渗滤; 对于采用底部排水的堆场, 可以对渗滤液进行收集, 集中处理. 对于堆场围堰的侧渗, 可以在围堰上铺土工布或土工膜.

2.3 其他污染物扩散方式防治

植物和动物直接摄取污染物后通过生物累积作用使重金属或有毒、有害的有机物进入食物链中^[7], 对环境造成潜在的危害. 可以通过堆场的管理, 防止某些积累污染物的物种在堆场上生长. 对于某些受严重有机污染的底泥, 可能向空气中挥发一些有毒、有害物质(如 PCB、PAH)^[8], 可以采用表面覆盖的方法, 防止污染物的挥发.

3 污染底泥的无害化处置

3.1 物理化学方法

物理化学方法有溶剂清洗、热萃取、动电学方法、固化(或稳定化)、熔融法、化学氧化等^[9,10].

1) 溶剂清洗. 将疏浚底泥用溶剂清洗, 将污染物转移到溶剂中, 然后对溶剂进行集中处理. 清洗溶剂可以是碱、表面活性剂、酸、螯合剂等.

2) 热萃取. 通过高温将大量污染物蒸发出来, 然后对污染气体进行处理, 去除挥发性重金属和其他燃烧的产物.

3) 动电学方法. 在污染底泥中插入阴极和阳极, 然后在电极两端加低压电流, 带正负电荷的离子向两极移动, 可以去除污染底泥中的重金属和其他离子. 动电学方法主要适合于处置重金属含量较高的污染底泥.

4) 固化(或稳定化). 通过添加稳定剂稳定污染底泥中的重金属和其他污染物, 这些稳定剂包括石灰、飞灰、水泥或其他化学药剂. 固化处理的效果在很大程度上受到疏浚底泥的性质、混合方法的影响, 应根据不同的底泥性质进行配方实验.

5) 熔融法. 在底泥中插入电极产生电流, 然后在冷却的时候固化, 如果底泥中的有机物含量高将会降低固化效率.

6) 化学氧化. 重金属的化学氧化是另一种修复疏浚底泥的方法, 通过添加无机和有机反应物可以还原重金属到最低价态形成稳定的有机金属复合物. 也有研究表明^[11]利用超声波去除疏浚底泥中的重金属在技术和经济上都是可行的. 目前国外利用物理化学方法处置疏浚污泥已经投入了实际工程中^[12].

3.2 生物修复

因为疏浚产生大量的污染底泥, 采用常规的物理化学方法进行污泥的无害化处置, 底泥的处置费用巨大. 近年来, 通过在污染底泥表面栽种植物, 利用植物的吸收和代谢作用去除污染物的方法越来越引起关注^[13]. 栽种植物可以对堆场中的污泥长期修复^[14], 直至污染底泥的彻底无害化, 另外, 栽种植物处理费用低, 效果明显, 植物的强大根系和表面覆盖的植物叶不仅阻止了有毒、有害污染物的挥发和表面径流引起的污染物流失, 也稳定了有机物和重金属, 避免或减少其进入渗滤液. 高蒸发率也加速了底泥的脱水速度. 研究表明, 柳树除了具有植物稳定作用, 也具有对重金属的植物萃取作用, 柳树根系对 Cd 有相对大的摄取量, 可以达到 3.9 mg/kg ^[15]. Dickinson 等研究表明, 如果植物的产量 $10 \text{ t}/(\text{a} \cdot \text{hm}^2)$, Cd 的质量比在 16 a 后将减小 10 mg/kg , 树组织中的 Cd 质量比将达到 250 mg/kg ^[13].

也有研究者利用生物降解的方法修复污染的疏浚底泥^[16], 研究结果表明, 生物降解的方法对环境影响小、花费低, 没有污染物释放到土壤、空气和水中, 大大减小了底泥的生物毒理性和污染物扩散的危险. Hakstege 等利用 4 个连续流的生物反应器处理经过预处理的疏浚底泥, 结果表明, 在生物反应器中对疏浚底泥的大规模的生物降解是可行的^[17].

4 太湖环保疏浚底泥堆场污染防治生产性试验

为了进行底泥堆场污染防治的生产性试验并推进相关技术的实用化, 2003 年 11 月在太湖的西五里湖实施环保疏浚示范工程. 该工程的底泥堆场设在无锡市滨湖区渔港乡, 堆场占地 15 万 m^2 , 堆泥厚度 3~5 m, 污染底泥中主要污染物为 N、P 营养盐及有机污染物. 在示范工程期间实施了堆场防渗、余水处理和污染底泥处置实验.

4.1 堆场防渗

利用太湖周边广泛分布的黏土作为防渗材料, 选用黏土的渗透系数小于 $1 \times 10^{-7} \text{ cm/s}$, 堆场场址表层土下大于 1 m 厚度的黏土层作底部防渗, 堆场的围堰全部用黏土筑成防止侧渗, 形成天然屏障, 阻隔底泥中的污染物向周围环境扩散. 从表 1 可以看出, 示范工程期间堆场周围设置的 5 个监测点的水质基本上没有变化. 这说明黏土作为疏浚堆场的防渗材料是可行的, 不仅花费低而且对环境影响小. 对于太湖流域的疏浚堆场可以用该地区广泛分布的黏土作为防渗材料.

4.2 余水水质控制

在堆场设计中考虑有利于底泥颗粒沉淀的因素, 输泥管尽量远离泄水区; 在堆场中设立导流墙, 延长水流路径, 减少短路和死区, 改善水力条件, 强化底泥颗粒的自然沉淀; 当自然沉淀后余水水质仍然不能达标时采用投药促沉方法, 实施了输泥管投药和堆场出水投药 2 种投药方式. 输泥管加药试验历时 8 d, 用了 4 种不同的絮凝剂进行 4 组试验. 输泥管内流速为 2~3 m/s, 在距出泥口 100 m 处用加药泵将絮凝剂加入管中, 在输泥管中快速混合, 在堆场中沉淀.

堆场出水加药试验历时 18 d, 用了 4 种絮凝剂进行了 5 组试验, 絮凝剂用加药泵加入到隔板混合池快速混合, 通过折流反应池反应, 在沉淀池中沉淀. 隔板式混合池采用 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 、长 3 m 的木板桩固定, 尺寸为长 12 m 宽 1.5 m, 沿长度方向分为 4 格, 每格 3 m, 木板厚 2 cm, 内隔板采用条板钉成整块累积有 0.7 m 的空隙, 隔板缝隙处的设计流速 1.07 m/s , 总水头损失大于 0.4 m, 工程期间根据实际疏浚流量调整

表1 堆场防渗水质监测数据

日期	2003-11-25	2003-12-29	2004-01-09	2004-02-12	2004-03-19	2004-04-23	
测点 1	$\rho(\text{COD})$	4.71	4.08	4.19	4.08	4.92	4.25
	$\rho(\text{TP})$	0.10	0.09	0.10	0.07	0.05	0.03
	$\rho(\text{TN})$	2.61	2.58	2.87	2.10	2.50	1.84
	$\rho(\text{NH}_4^+ -\text{N})$	2.16	2.53	2.70	1.83	1.55	1.30
测点 2	$\rho(\text{COD})$	4.99	5.92	5.44	7.62	5.31	5.70
	$\rho(\text{TP})$	0.12	0.11	0.11	0.21	0.12	0.13
	$\rho(\text{TN})$	2.87	3.15	2.60	1.71	2.66	2.11
	$\rho(\text{NH}_4^+ -\text{N})$	1.78	0.37	0.90	0.47	0.96	0.57
测点 3	$\rho(\text{COD})$	7.64	6.64	5.88	7.00	6.54	6.85
	$\rho(\text{TP})$	0.17	0.08	0.08	0.21	0.15	0.19
	$\rho(\text{TN})$	1.89	2.42	2.13	4.48	1.37	1.20
	$\rho(\text{NH}_4^+ -\text{N})$	0.73	0.56	0.69	1.80	0.76	0.51
测点 4	$\rho(\text{COD})$	—	0.69	0.77	1.19	0.96	1.34
	$\rho(\text{TP})$	—	0.11	0.11	0.04	0.02	0.02
	$\rho(\text{TN})$	—	3.15	2.60	0.92	0.46	0.82
	$\rho(\text{NH}_4^+ -\text{N})$	—	0.37	0.90	—	0.24	—
测点 5	$\rho(\text{COD})$	—	0.54	0.35	0.62	0.88	1.00
	$\rho(\text{TP})$	—	0.03	0.02	0.05	0.02	0.01
	$\rho(\text{TN})$	—	0.43	0.17	0.31	0.76	0.27
	$\rho(\text{NH}_4^+ -\text{N})$	—	0.15	0.18	0.07	0.09	—

隔板的缝隙。隔板折流式反应池设计水力停留时间为 20~30 min, 反应池从第 1 廊道开始宽度依次增大, 保证廊道内流速逐渐由大变小, 变化范围为 0.5~0.6 m/s(第 1 廊道)至 0.2~0.3 m/s(最后 1 廊道)。絮凝反应池的隔板采用木板, 每块板长 25 m 厚 2 cm, 板插入池底, 每隔 2 m 用 15 cm×15 cm 长 4 m 木桩固定。沉淀池采用平流式沉淀池, 长宽比大于 4, 水力停留时间大于 2 h, 出水为梯形溢流堰, 堰的设计负荷率 9 257 m³/(m·d)。排泥采用吸泥泵抽泥返回至底泥堆场。上述措施保证了该示范工程堆场排放余水达到 $\rho(\text{SS}) < 200 \text{ mg/L}$ 的考核指标要求, 如表 2、表 3。

表2 输泥管投药处理试验结果

Tab.2 Experimental results of adding flocculants to sludge pipe

日期	使用药剂	投药量/ (mg·L ⁻¹)	出水 $\rho(\text{SS})$ / (mg·L ⁻¹)	日期	使用药剂	投药量/ (mg·L ⁻¹)	出水 $\rho(\text{SS})$ / (mg·L ⁻¹)
2003-12-20	PFS	200	70	2003-12-24	HS-1	200	52
2003-12-21	PFS	200	39	2003-12-25	HS-1	200	57
2003-12-22	PAM	5	31	2003-12-26	HS-2	60	45
2003-12-23	PAM	5	143	2003-12-27	HS-2	60	56

注:投药点为距输泥管出口 100 m 处

表3 堆场出水投药生产性试验结果

Tab.3 Experimental results of adding flocculants to discharge outlet

日期	使用药剂	投药量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出水 $\rho(\text{SS})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	日期	使用药剂	投药量/ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	出水 $\rho(\text{SS})$ / ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
2003-12-29	PFS	20	31	2004-01-07	HS-4	3	26
2003-12-30	PFS	20	32	2004-01-08	HS-1	20	68
2003-12-31	PFS	20	68	2004-01-09	HS-1	20	14
2004-01-01	PFS	20	41	2004-01-10	PFS	50	171
2004-01-02	HS-4	3	121	2004-01-11	HS-1	70	25
2004-01-03	HS-4	3	44	2004-01-12	PFS	40	77
2004-01-04	HS-4	3	35	2004-01-13	HS-5	1	94
2004-01-05	HS-4	3	67	2004-01-14	HS-5	2	113
2004-01-06	HS-4	3	23				

注:投药点为堆场出水口隔板混合池内

4.3 污染底泥处置

用堆场主动排水、在堆场栽种植物等方法促进底泥干化固结,将固结后的底泥用于产品不进入人类食物链的园林绿化、花卉种植等用途,同时开展底泥经固化剂固化制成土工材料的底泥资源化试验研究。

5 结束语

作为治理重污染水体的重要手段之一的环保疏浚越来越引起人们的关注,环保疏浚产生的受污染底泥存放在堆场的潜在危害也应该得到足够的重视,在实施环保疏浚时,必须同时采取底泥堆场的污染物扩散防治措施,才能使污染底泥疏浚达到预期目的,发挥更大的环境效益。

参考文献:

- [1] VANDECASTEELE B, DE VOS B, TACK FILIP M G. Heavy metal contents in surface soils along the Upper Scheldt river affected by historical upland disposal of dredged materials[J]. The Science of the Environment, 2002, 290: 1-14.
- [2] ALMEIDA M S, BORMA L S, BARBOSA M C. Land disposal of river and lagoon dredged sediments[J]. Engineering Geology, 2001, 60: 21-30.
- [3] STEPHENS S R, ALLOWAY B J, PARKER A, et al. Changes in the leachability of metals from dredged canal sedimental sediments during drying and oxidation[J]. Environmental Pollution, 2001, 114: 407-413.
- [4] LINKOV I, VON STACKELBERG K E, BURMISTROV D, et al. Uncertainty and variability in risk from trophic transfer of contaminants in dredged sediments[J]. The Science of the Total Environmental, 2001, 274: 255-269.
- [5] HUO Shou-liang, JING Yi-feng, CHENG Jing, et al. Contaminant characteristics of environmental dredging residual water in Wuli lake[C]// The 4th International Conference on Watershed Manage and Urban Water Supply. Shenzhen: Haitian Publishing House, 2004: 847-852.
- [6] 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.
JIN Xiang-can, JING Yi-feng, LIU Wen-sheng, et al. Engineering techniques for polluted sediment dredging of lakes: Cao-hai of lake Dianchi[J]. Research of Environmental Sciences, 1999, 12(5): 9-12. (in Chinese)
- [7] MERTENS J, LUYSSAERT S, VERBEEREN S, et al. Cd and Zn concentrations in small mammals and willow leaves on disposal facilities for dredged material[J]. Environmental Pollution, 2001, 115: 17-32.

- [8] TANG NING H, MYERS TOMMY E. PCB removal from contaminated dredged material[J]. *Chemosphere*, 2002, 46: 477-484.
- [9] MULLIGAN C N, YONG R N, GIBBS B F. An evaluation of technologies for the heavy metal remediation of dredged sediments[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2001, 85: 145-163.
- [10] RIENKS J. Comparison of results for chemical and thermal treatment of contaminated dredged sediments[J]. *Water Science Technology*, 1998, 37(6-7): 355-362.
- [11] MEEGODA J N, PERERA R. Ultrasound to decontaminate heavy metals in dredged sediments[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2001, 85: 73-89.
- [12] JONES K W, FENG H, STERNE A, et al. Dredging material decontamination for the port of New York/New Jersey[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2001, 85: 127-143.
- [13] VERVAEKE P, LUYSSAERT S, MERTENS J, et al. Dredged sediment as a substrate for biomass production of willow trees established using the SALIMAT technique[J]. *Biomass and Bioenergy*, 2001, 21: 81-90.
- [14] TORDOFF G M, BARKER A J M, WILLIS A J. Current approaches to the revegetation and reclamation of metalliferous mine wastes[J]. *Chemosphere*, 2000, 41: 219-228.
- [15] PUNSHON T, DICKINSON N M. Mobilisation of heavy metals using short-rotation coppice[J]. *Aspects to Applied Biology*, 1997, 49: 85-92.
- [16] FERDINANDY VAN V, MARIJKE M A. Chances for biological techniques in sediment remediation[J]. *Water Science Technology*, 1998, 37(6-7): 345-353.
- [17] HAKSTEGE A L, VAN GELDERMALSEN L A. Pilot remediation of sediment from the petroleum harbour in Amsterdam [J]. *Water Science Technology*, 1998, 37(6-7): 403-409.

Research on Pollutant Diffusion Control of Contaminated Dredged Material on the Mud Dumping Site

LÜ Jian¹, HUO Shou-liang¹, JING Yi-feng², CHENG Jing³, ZHANG Yan¹

(1. Beijing Key Lab of Water Quality Science and Water Environmental Restoration Engineering, College of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China; 2. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. Beijing Water Authority, Beijing 100037, China)

Abstract: This article thoroughly summarized pollutant diffusion pathways of contaminated dredged material on mud dumping site, and introduced control techniques in domestic China and out side China as well. Full-scale experiments of contaminant diffusion control had been done on the mud dumping site of Taihu Wuli lake environmental dredging project, by using the clay around Taihu lake as leachate prevention material. Water quality of five points around the mud dumping site were stable during the dredging process, which showed that the clay around Taihu lake could be used as leachate prevention material. Flocculants were added to the sludge pipe, in which flocculants were mixed rapidly, then they flocculated and sedimentated on the mud dumping site. Or, the flocculants were added into the discharge outlet of the mud dumping site, which mixed quickly in the clapboard tank and flocculated in the reciprocal baffled flocculating tank, then they sedimentated in the horizontal flow sedimentation tank. The results show that the solid suspension concentration of effluent is less than $\rho(\text{SS}) < 200 \text{ mg/L}$.

Key words: environmental protection; dredging; residual water treatment; contamination diffusion; sludge handling