

# Risk Analysis and Precautions of Direct Land Utilization of Dredged Sediment

Jiajia Xiang

Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co. Ltd., Shanghai  
Email: [xiangjiajia@smedi.com](mailto:xiangjiajia@smedi.com)

Received: Jun. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jun. 27<sup>th</sup>, 2019; published: Jul. 4<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Direct land utilization of dredged sediment is an important way of sediment reduction, harmless and resource utilization. The sediment contains heavy metals, organic pollutants and other pollutants, and there are complex forms between pollutants. The reference standard for direct land utilization of sediment is not perfect, and sediment may cause ecological and health risks during dredging, transportation and direct land utilization. According to the characteristics of sediment pollution and the ways of pollutant exposure, a series of effective measures are taken to reduce the risk of direct land use of dredged sediment.

## Keywords

Sediment, Land Utilization, Combined Pollution, Ecological Risk

---

# 疏浚底泥直接土地利用风险分析及控制措施

向甲甲

上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海  
Email: [xiangjiajia@smedi.com](mailto:xiangjiajia@smedi.com)

收稿日期: 2019年6月7日; 录用日期: 2019年6月27日; 发布日期: 2019年7月4日

---

## 摘 要

疏浚底泥直接土地利用是底泥减量化、无害化、资源化利用的重要方式。底泥中含有重金属、有机物等污染物, 污染物之间相互作用造成复合污染。底泥直接土地利用参考的标准不完善, 底泥在疏浚、运输以及直接土地利用过程中可能造成生态及健康风险。根据底泥的污染特性、污染物的暴露途径等采取一系列有效措施可以降低疏浚底泥直接土地利用带来的风险。

## 关键词

底泥, 土地利用, 复合污染, 生态风险

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着城市人居环境的提高, 水环境综合整治成为城市发展的重点, 国务院颁布的《水污染防治行动计划》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。疏浚底泥是消除河道内源性污染的重要措施[1]。

如何资源化利用疏浚底泥成为研究的焦点。疏浚底泥中富含营养盐等植物生长所需的营养元素, 同时所含的腐殖质等, 能改善土壤结构[2]。因此, 疏浚底泥的土地利用不仅可以缓解我国土壤资源紧缺的问题, 还能实现疏浚土的资源化、减量化。疏浚底泥直接土地利用是指以绿化种植土为代表, 在农田、林地、牧场、湿地、城市绿化中消纳、使用疏浚底泥。由于疏浚底泥中含有重金属、VOC、SVOC 等多种污染物, 疏浚底泥在直接土地利用的过程中存在一定的风险。

本论文通过分析可以直接土地利用底泥的污染特征、探讨参考标准中规定的监测因子及其筛选值、研究疏浚底泥土地利用的环节及污染物可能的暴露途径, 分析了疏浚底泥直接土地利用可能造成的风险, 提出了控制底泥直接土地利用风险措施。

## 2. 直接土地利用的优势

河道底泥主要由水土流失和地表径流形成, 其理化性质与陆地土壤相似, 主要成分是二氧化硅、氧化铝等。底泥中富含植物生长所需的营养元素(N, P), 疏浚底泥直接土地利用能够有效调高土壤肥料, 促进植物生长[3]。此外, 底泥的颗粒粒径较小, 将底泥施用到砂质土壤中, 能增加砂质土壤的粘粒含量, 改善砂质土壤的质地, 减小孔隙度, 从而提高其持水保肥能力。研究表明底泥投加到不同类型的土壤对各类生物的生长均有促进作用。京杭大运河(杭州段)底泥投加到红壤土, 松叶牡丹、鸡冠花植株鲜重比未投加分别增重了 48.1 g、76.6 g [4]; 大沽排污河底泥投加到壅土, 紫花苜蓿、黑麦草植株鲜重比未投加分别增重了 78 g、60 g [5]; 西班牙湖泊底泥投加到土壤, 西红柿鲜重增加了 4 g [6]。为了确保植物根系的呼吸代谢, 植物的土壤含水量必须保持在适宜的水平并具有高孔隙度。研究表明, 疏浚底泥土地利用时, 其含水率需低于 68%, 孔隙度维持在 55%~65%的范围内[7]。此外, 出于安全考虑, 直接土地利用的底泥中有毒有机物和重金属含量必须符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)或《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016)等要求[8]。疏浚底泥直接土地利用环境相对安全、处置费用低、处置量大、且充分利用了底泥中的有益成分, 被认为是最具发展潜力的底泥处置方式。

## 3. 疏浚底泥污染特征

符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)或《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016)等要求可直接土地利用的底泥主要分布在工业活动较少, 以旅游、农林业等为主的市郊区域。此外, 这些区域农田及林地面积较广, 便于疏浚底泥的就近土地利用。

以上海某郊区疏浚底泥为例,分析直接土地利用底泥污染特征。该区属于典型的平原感潮水网地区,水环境功能区划为II类~IV类水质控制区。所采样的河流均位于村镇周围,附近没有工业聚集区。对100条河流疏浚底泥进行检测分析,疏浚底泥均符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)或《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016)要求。

### 3.1. 重金属污染特征

底泥中8种重金属的含量之和介于141 mg/kg~517 mg/kg之间,平均值为291 mg/kg。各种重金属的含量由高到低依次为:Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > As > Cd > Hg,含量最高的是Zn和Cr,平均含量分别为98.2 mg/kg和61 mg/kg,重金属含量的统计结果见表1。

Table 1. Statistical results of heavy metal (n = 271)

表1. 重金属含量统计结果(n = 271)

项目	Cd	Hg	As	Pb	Cr	Cu	Ni	Zn
平均值(mg/kg)	0.19	0.139	9.72	38.2	61	29	54	98.2
最小值(mg/kg)	0.03	0.021	4.26	6.7	7	5	15	45.2
最大值(mg/kg)	0.29	0.246	18.80	61.7	148	97	159	234.0
中值(mg/kg)	0.20	0.140	9.35	41.8	53	20	51	99.0
标准差(mg/kg)	0.07	0.051	2.46	16.8	29	21	23	18.6

采用地积累指数法计算8种重金属的地积累指数。8种重金属的污染程度由高到低依次为:Hg > Cd > Ni > Pb > As > Cu > Zn > Cr。Hg、Cu和Ni有4%的样品为偏中度污染,其他重金属重金属污染程度均不超过偏中度污染。重金属地积累指数污染评价结果见图1。

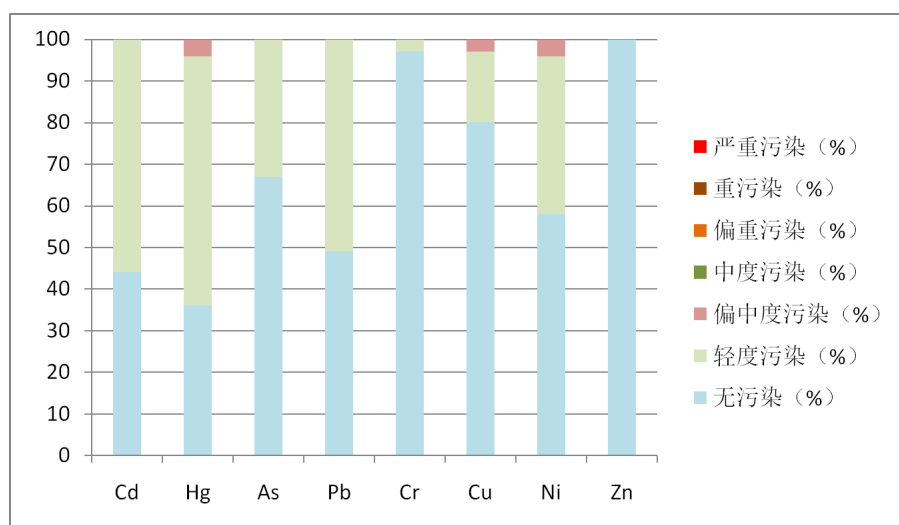


Figure 1. Assessment of heavy metal accumulation index pollution

图1. 重金属地积累指数污染评价结果

### 3.2. 有机物污染特征

选取《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)中3种有机污染物检测项目(包括两种农药和一种多环芳烃)进行分析,统计结果见表2。农药六六六及滴滴涕在100条河流底泥中

普遍检出, 最高浓度分别为 74.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  和 98.2  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ; 苯并(a)芘检出率较低, 仅为 3.7%, 最高浓度为 1.09  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。市郊农业生产过程中农药的使用造成六六六及滴滴涕检出率较高, 而苯并(a)芘鲜有检出可能由于该区域工业活动较少。

**Table 2.** Statistical results of organic compounds (n = 271)

**表 2.** 有机物含量的统计结果(n = 271)

项目	农药类		多环芳烃	总量
	六六六	滴滴涕	苯并(a)芘	
检出率(%)	100	99.3	3.7	-
平均值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	20.31	36.92	0.42	57.23
最小值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	1.65	1.74	0.18	3.39
最大值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	74.4	98.2	1.09	172.6
中值( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )	17.95	35.4	0.35	53.35
标准差	13.85	20.92	0.25	34.75

有机物与重金属 Spearman 相关性分析见表 3, 相关性分析表明铅与三种有机物具有显著相关性, 表明铅与这三种有机物可能具有共同污染源, 或者铅更容易与三种有机污染物形成复合型污染物。农药六六六与重金属铅、铬、铜、镍及锌均具有显著相关性, 表明农药六六六可能容易和多种重金属复合。

**Table 3.** Analysis of the correlation between organic compounds and heavy metals (n = 271)

**表 3.** 有机物与重金属相关性分析(n = 271)

项目	六六六	滴滴涕	苯并(a)芘
镉	0.513	0.733	0.142
总汞	0.288	0.080	0.489
总砷	0.328	0.257	0.178
铅	<b>0.027*</b>	<b>0.022*</b>	<b>0.039*</b>
总铬	<b>0.008**</b>	0.198	0.560
铜	<b>0.000**</b>	0.221	0.290
镍	<b>0.001**</b>	0.420	0.257
锌	<b>0.002**</b>	0.123	0.354

注: 表中数据为 Spearman 相关性分析 P 值; \*在置信度(双测)为 0.05, 相关性是显著的; \*\*在置信度(双测)为 0.01, 相关性是显著的。

## 4. 风险分析

虽然疏浚底泥在直接土地利用之前需进行大量的前期调查工作确认底泥中有毒有机物和重金属含量符合《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)或《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016)等要求。但是相关标准中监测项目较少, 不能全面掌握底泥的污染状况。底泥污染特征分析显示污染物多呈复合形态分布, 可能具有更强的毒性, 底泥在疏浚、运输以及直接土地利用过程中都可能造成生态及健康风险。

### 4.1. 底泥疏浚

底泥疏浚过程中释放的挥发/半挥发性有机物的释放对疏浚工人以及周边居民造成健康风险。钟润生

等[9]利用风洞系统和硫化氢荧光分析仪对感潮河流污染底泥硫化氢的释放规律进行了研究, 结果表明底泥释放的硫化氢浓度最高可达 500  $\mu\text{g/L}$ 。在底泥疏浚、挖掘等活动中, 底泥的扰动会导致更多挥发/半挥发性有机物的释放, 现场工人暴露在高浓度污染物中, 会造成人体健康风险。此外, 由于空气的流动性, 底泥疏浚释放的有毒有害气体容易扩散到附近敏感区域, 可能对附近居民、学校等敏感受体造成一定的风险。可以根据《污染场地风险评估技术导则》(HJ 25.3-2014), 计算基于致癌效应的土壤或地下水风险控制值。现场工人的暴露途径主要为经口摄入疏浚底泥、皮肤接触底泥、吸入室外空气中来自疏浚底泥的气态污染物; 附近居民暴露途径主要为吸入室外空气中来自疏浚底泥的气态污染物。

在疏浚过程中底泥中的重金属及有机物污染物等同样会释放到地表水中, 随着地表径流及地下渗透作用, 污染物可能扩散到周边敏感水体以及地下水, 对周边水体也会造成一定生态风险。

## 4.2. 底泥运输

底泥的含水率较高, 一般在 90%以上。由于运输车辆车厢通常不是密封的, 在运输过程中底泥中的水分容易渗出, 以泥浆、淤泥等形式外流。流出物中的挥发/半挥发性有机物释放到空气中会对沿途敏感区域造成一定风险。此外, 流出物在沿途路面上风干后形成泥斑, 在往来车辆的碾压、风力作用下形成扬尘, 底泥中的重金属附着在悬浮颗粒物上, 沿途附近敏感人群经呼吸摄入, 会造成一定的健康风险。

## 4.3. 底泥直接土地利用

### 4.3.1. 农用地还田利用

疏浚底泥用于农用地还田, 主要参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018) [10]。《农用地筛选值和管制值》以保护食用农产品安全为主, 兼顾保护农作物生长和土壤生态的需要。由于该标准的定位是确保农产品质量安全, 对人体健康风险考量较少, 标准中相关监测因子仅有 11 项包括 8 种重金属、2 种农药及苯并(a)芘, 其他污染物(特别是挥发/半挥发性有机物)没有做出规定, 底泥中的污染物往往呈现复合型。疏浚底还田利用过程中存在一定的人体健康风险, 暴露人群主要为两类: 1) 现场作业工人; 2) 附近居民。与底泥疏浚的暴露风险类似, 现场作业工人将底泥投加、摊平到农田过程中可能会吸入高浓度的挥发/半挥发性有机物, 造成一定的人体健康风险。农田附近一般聚集有村落, 城市郊区农田附近可能分布有居民小区, 还田底泥中的污染物对附近居民有长期暴露的风险。

### 4.3.2. 绿化种植利用

底泥用于绿化种植主要参考《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016) [11], 该标准仅规定了 8 种重金属控制浓度, 对有机污染物没有做出规定。底泥绿化种植利用在植物园、公园、学校、居住区等与人体接触较密切的场所, 底泥中释放的有机物染污会对这些人群造成一定的健康风险。植物园、公园等公共场所人流量较大, 游客具有随机性, 以短期暴露为主; 学校、居住区人群相对固定, 以长期暴露为主。

## 5. 控制风险措施

根据底泥的污染特性、污染物的暴露途径等可以采取一系列有效措施以降低疏浚底泥直接土地利用带来的风险。

1) 源头控制, 疏浚底泥在直接土地利用之前需进行大量的前期调查工作, 除了参考《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB15618-2018)及《绿化种植土壤》(GJ/T340-2016)外, 需根据河道周边工业企业分布情况, 对污染源进行分析, 监测疑似污染物项目, 必要时可以参考《土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准(试行)》(GB36600-2018)。

- 2) 做好防护, 现场作业工人应按规定做好防护工作, 以防底泥中的污染物经口、皮肤等途径摄入。
- 3) 规范运输, 疏浚的底泥在运输前进行脱水处理, 运输车辆车厢做好密封工作, 以防泥浆外流, 达标的底泥最好就近直接土地利用, 既节省运输成本又能减少环境影响。
- 4) 优化处置方式, 底泥还田、还林利用时减少与空气直接暴露, 尽量与原土混合或置于原土以下。

## 6. 总结

疏浚底泥能够有效消除河道内源性污染。疏浚底泥直接土地利用环境相对安全、处置费用低、处置量大、且充分利用了底泥中的有益成分。底泥中含有重金属、VOC、SVOC 等多种污染物, 污染物之间相互作用造成复合污染, 由于直接土地利用参考的标准中监测因子种类有限, 底泥在疏浚、运输以及直接土地利用过程中都可能造成生态及健康风险。根据底泥的污染特性、污染物的暴露途径等可以采取一系列有效措施以降低疏浚底泥直接土地利用带来的风险。

## 基金项目

上海市国际科技合作基金项目(17210731100); 上海市科技人才计划项目(19QB1405300)。

## 参考文献

- [1] 章威. 底泥疏浚对城市浅水湖泊环境效应的影响[J]. 环境工程, 2018(12): 18-19.
- [2] 张明霞. 疏浚底泥在城市绿化中的应用[J]. 中国城市林业, 2011, 9(5): 50-51.
- [3] 范志明, 张虎元, 王宝, 等. 疏浚底泥的园林绿化应用[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(3): 1089-1091.
- [4] 付克强, 王殿武, 李贵宝. 城市污泥与湖泊底泥土地利用对土壤-植物系统中养分及重金属 Cd、Pb 的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4): 335-339.
- [5] 朱广伟, 陈英旭, 王凤平. 景观水体疏浚底泥的农业利用研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 335-339.
- [6] 马伟芳, 赵新华, 王洪云. 排污河道的疏浚底泥在园林中的应用研究[J]. 中国给水排水, 2006, 20(2): 102-103.
- [7] 苏德纯, 胡育峰, 宋崇渭, 等. 官厅水库坝前疏浚底泥的理化特征和土地利用研究[J]. 环境科学, 2007(6): 19-23.
- [8] 上海市水务局等关于印发《关于规范中小河道整治疏浚底泥消纳处置的指导意见》的通知[Z]. 2018.
- [9] 钟润生, 陈磊, 董晓清. 感潮河流污染底泥典型恶臭气体释放规律研究[Z]. 2013.
- [10] 生态环境部, 国家市场监督管理总局. 土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准[S]. 2018.
- [11] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 绿化种植土壤[S]. 2016.

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询; 或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2329-7255, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [hjss@hanspub.org](mailto:hjss@hanspub.org)