

黑臭河道底泥特征分析及处理工艺筛选

蒋伟^{1,2}, 赵永国^{1*}, 陈瑞华^{1,2}, 吕向菲^{1,3}

(1. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司, 陕西 西安 710075;

2. 西安中交环境工程有限公司, 陕西 西安 710065;

3. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要:以深圳市前海片区代表性河道黑臭底泥为研究对象,对其 pH 值、含水率、有机质、氮磷含量、重金属含量及粒径进行分析。结果表明,黑臭底泥主要为呈碱性的无机砂质成分,有机质含量低,重金属含量虽高但分布稳定。根据其特性,最终确定其主要处置方式为疏浚后机械脱水。

关键词:黑臭河道;底泥成分;污染特征;处理工艺筛选;深圳

中图分类号: X522 文献标志码: B 文章编号: 1006-2009(2019)03-0064-04

Characteristic Analysis and Treatment Process Screening of Sediment from Black-Odor River

JIANG Wei^{1,2}, ZHAO Yong-guo^{1*}, CHEN Rui-hua^{1,2}, LV Xiang-fei^{1,3}

(1. *CCCC First Highway Consultants Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710075, China;*

2. *Xi'an Zhongjiao Environmental Engineering Co., LTD, Xi'an, Shaanxi 710065, China;*

3. *School of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China)*

Abstract: In this paper, taking the representative sediments from black-odor river in Qianhai district of Shenzhen as the research objects, pH value, moisture content, organic matter content, mass fraction of nitrogen and phosphorus, concentrations of heavy metals and particle size distribution of the sediments were determined. The results indicated that the black odor sediments were mainly composed of alkaline inorganic sand containing a few amount of organic matters and lots of heavy metals which were in stable distribution. According to the properties of the sediment, the final treatment way was mechanical dewatering after dredging.

Key words: Black-odor river; Composition of sediment; Pollution characteristic; Screening of treatment process; Shenzhen

黑臭底泥的污染是黑臭水体污染的一个重要后果,尤其是底泥中污染物的释放造成的二次污染问题已成为黑臭水体难以治理的重要原因^[1-3]。深圳市前海湾片区是我国典型的黑臭水体聚集区域之一,其河道大多穿过密集的工业区和住宅区,渠道内污染及淤积较严重,严重影响城市发展。目前,黑臭底泥在实际工程中多采取疏浚技术清淤^[4-5]。如何选择有效的黑臭底泥资源化处理工艺成为城市黑臭河道治理的关键问题,也是提高城市水环境质量的难点问题^[6]。将黑臭底泥进行资源化利用,不仅可以解决黑臭底泥的出路,而且可

以为城市黑臭水体的处理开拓一条可持续发展之路。如何根据其污染程度、理化性质及当地环境和经济技术等因素,因地制宜地筛选处理工艺,值得进一步研究。

收稿日期:2018-04-12;修订日期:2019-03-11

基金项目:第63批中国博士后科学基金面上-一等基金资助项目(2018M631117);中交第一公路勘察设计研究院有限公司科技创新基金科研项目(KCJJ2018-10);长安大学中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(300102298102)

作者简介:蒋伟(1980—),男,湖南株洲人,高级工程师,本科,主要从事城市水环境综合治理研究。

*通信作者:赵永国 E-mail: 351683511@qq.com

今以深圳市前海片区典型黑臭水体为研究对象,通过调查河道黑臭底泥的污染状况,深入分析黑臭底泥的主要污染物分布规律和理化性质,并根据其工程实施条件进行黑臭泥资源化处理工艺筛选,以期为深入认识黑臭成因及黑臭底泥的资源化处理工艺筛选提供依据。

1 材料与方 法

1.1 监测点布置与采样

深圳市黑臭水体共 9 条河流^[7],在每条河水流稳定区设置一个采样断面,在各断面中间设置采样点,监测点位见图 1。采样选择在 6 月,温度 25 ℃ 以上、晴朗、静风天气条件下进行。鉴于区域内河道较窄,底泥分布较浅,选择河流流域污染最严重的地方为采样点。



图 1 前海片区底泥采集点分布

Fig. 1 Distribution of sediment sampling sites in sea area

1.2 主要仪器与试剂

ICP - AES 6300 型电感耦合等离子体光谱仪,美国热电公司;Polymetron 9582 型溶氧仪,美国哈希公司;雷磁 PHS - 3C 型 pH 计,上海精密科学仪器有限公司;MARSXPRESS 型微波消解仪,美国 CEM 公司。重铬酸钾、浓 H_2SO_4 、双氧水、浓 HNO_3 、浓 HCl 、 HF 、浓 $HClO_4$ (分析纯)等,科密欧化学试剂有限公司。

1.3 分析方法

用底泥采样器采集表层底泥样品,密封、遮光,立即运回实验室,4 ℃ 下冷藏保存。含水率及 pH 值可直接现场分析。其他相关理化指标分析,需将样品在室内晾干,初步剔除其中的粗杂质,用玻璃研钵将其小心研碎后,过筛,备用。针对不同河道中黑臭底泥的污染物含量进行分析,总结其分布规

律和成因。底泥污染物分析指标主要包括:pH 值、含水率、有机质、全氮、总磷、汞、铅、铜、锌、铬、镍、砷。测量所有采样点底泥粒径,总结其粒径与污染物浓度之间的关系。污泥有机质含量采用重铬酸钾容量法 - 外加热法测定^[8]。总氮含量采用 $H_2SO_4 - H_2O_2$ 消化,凯氏定氮法测定^[9]。总铜、总锌、总铅、总铬经浓酸消解后,使用 ICP - AES 测定^[10]。

2 结果与讨论

2.1 不同监测点底泥理化指标

各点位黑臭底泥的理化指标见表 1,大部分污泥呈现弱碱性。研究表明^[11-13],黑臭底泥的 pH 值与区域内土壤本土成分相关,深圳市多为砂质土壤,其 pH 值一般为弱碱性,这与上述实验结果一致。同时,底泥 pH 值会影响微生物的电解质平衡,直接影响微生物的活性。弱碱性条件下污泥表现出较高的厌氧氨氧化活性,影响底泥中氮的分解和累积。底泥中重金属的存在形式和溶解主要受 pH 值支配,当底泥中 pH 值下降到一定程度时,可溶解重金属,而碱性的黑臭底泥对重金属有固定作用,不会产生含有重金属离子的有毒渗出液。综上,深圳市黑臭底泥 pH 值从弱酸性到弱碱性变化,弱碱性黑臭底泥对有机氮有一定的分解能力,其重金属离子稳定,不易渗出。

表 1 黑臭底泥理化指标

Table 1 Physical and chemical parameters of sediment

点位	pH 值	含水率/%	w(有机物)/%	ρ (总氮)/ ($mg \cdot L^{-1}$)	ρ (总磷)/ ($mg \cdot L^{-1}$)
N2	6.55	26.7	0.86	449	434
N3	11.62	72.5	0.91	128	31.1
N4	7.83	43.0	0.96	598	807
N5	8.55	35.5	0.65	75	47.2
N6	7.98	30.9	0.73	150	210
N7	7.15	25.0	5.05	1 470	1 240
N8	6.93	18.8	0.6	80	34.4
N12	7.49	29.4	0.96	253	228
N13	7.63	17.1	0.62	100	40.8
N14	6.73	28.3	1.08	468	421
N15	8.42	49.6	0.55	124	43

研究表明^[14],含水率的高低会显著影响厌氧过程中微生物的代谢合成反应,从而对黑臭气体 H_2S 的产生造成影响,是制定底泥处置对策的关键。由表 1 可知,大部分底泥的含水率为 25% ~ 43%,咸水涌 N8 和西乡河下游采样点 N13 的底泥

含水率最低,分别为18.8%和17.1%。结合黑臭水体现场黑臭气情况,这两个采样点所在河道黑臭情况最为严重。

底泥有机物的含量不但直接影响其资源化的途径,而且会显著影响重金属的存在形式,是底泥资源化处理的重要指标。由表1可知,各采样点中有机质含量普遍偏低,其中有机质含量最高的采样点是新圳河,这也是所有黑臭水体中污染最轻的一个采样点。有机质含量最低的2个底泥采样点为咸水涌N8和铁岗排洪渠下游采样点N15。底泥有机质含量与水体黑臭程度显著负相关,底泥有机质含量较低的水体,其水体黑臭情况严重,且多为工业污染造成。氮磷含量是植物生长的营养来源,底泥中氮磷含量是其土地利用的主要考察指标。由表1可知,新圳河底泥的氮磷含量最高,而咸水涌和固戍涌的氮磷含量较低。采样点的总氮值为75 mg/L ~ 1 470 mg/L,总磷值为31.1 mg/L ~ 1 240 mg/L。水质状况较好的底泥(新圳河底泥)氮磷值高,而污染较重的咸水涌底泥氮磷值较低,含水率高、碱性较强的固戍涌底泥磷值也较低,说明工业型黑臭水体(咸水涌)底泥氮磷值低。

2.2 不同监测点重金属和砷监测结果

重金属和砷是底泥资源化利用的最主要障碍,在采样点底泥中的测定结果见表2。由表2可知,所有采样点底泥7种物质质量比为铜 > 锌 > 铬 > 镍 > 铅 > 砷 > 汞。其中,黑臭底泥的铜质量比(55.6 mg/kg ~ 2 080 mg/kg)最高,表中数据表明,深圳前海片区黑臭底泥主要以铜、锌、铬及镍为主要污染金属。从不同采样点重金属质量比变化趋势分析,铜、锌、铬和镍的分布规律基本相似,表明其分布具有相关性,新涌与共乐涌采样点中这4种金属值均比较高,说明其污染源类似。而铜、锌和镍是电镀企业中电路板的主要化学成分,结合采样点所处的位置(上游为工业园区),推断其上游存在电镀企业。铁岗排洪渠下游N15底泥所有重金属的值均较高,说明其各类重金属污染均较严重。结合采样点位置,发现铁岗排洪渠中游贯穿崩山工业村,该区域存在大量中小企业和居民生活区,污染源复杂,管网分布混乱,偷排和漏排现象严重。综上,电镀类企业是前海片区黑臭底泥中重金属离子值高的主要原因,其中新涌采样点N3中黑臭底泥的铜值最高,可达2 080 mg/kg。

表2 不同监测点黑臭底泥中7种元素的测定结果

Table 2 Results of seven elements in sediments at different monitoring sites

采样点	$w(\text{汞})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{铅})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{铜})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{锌})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{铬})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{镍})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$w(\text{砷})/$ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)
N2	0.231	74.2	997	315	225	165	17.1
N3	0.176	95.8	2 080	554	412	286	17.7
N4	0.349	82.9	177	469	131	79.2	19.4
N5	0.282	94.8	239	622	156	104	18.1
N6	0.356	77.4	872	450	321	194	7.5
N7	0.095	22.9	63.0	96.7	70.3	35.8	1.7
N8	0.113	52.9	55.6	105	44.1	25.2	5.1
N12	0.076	27.8	104	114	84.9	36.6	1.3
N13	0.253	82.7	132	280	97.4	129	12.5
N14	0.108	22.9	101	105	75.6	34.1	6.7
N15	1.07	85.1	192	695	183	97.1	14

2.3 不同监测点颗粒粒径变化

对重金属含量较高的监测点底泥进行颗粒粒径分析,新涌黑臭底泥的粒径主要分布在0.15 mm ~ 0.6 mm之间,南昌涌底泥粒径主要分布在0.3 mm ~ 0.6 mm之间,咸水涌粒径呈现多级分布,在0.002 mm ~ 0.005 mm及0.01 mm ~ 0.05 mm之间均有分布,共乐涌粒径主要分布在0.01 mm ~ 0.05 mm之间,西乡河底泥粒径为

0.6 mm ~ 2.36 mm。与传统底泥颗粒粒径相比,所有采样点底泥粒径较大,结合前期底泥成分分析结果,发现采样点底泥有机质含量少,含砂量高,推测其主要成分为无机砂质。与重金属分布规律结合分析发现,颗粒粒径呈现多级分布的底泥其重金属吸附量也较高(咸水涌和共乐涌),粒径越小对重金属的吸附量也越高(新涌)。

2.4 底泥处理工艺筛选

根据河道黑臭底泥成分分析结果,前海片区河道黑臭底泥与传统的活性底泥相比,粒径较大,其污染主要是无机颗粒吸附重金属和氮磷造成的内源污染,清淤后河道水质改善状况也证明了这一点。目前,城市底泥主要处理技术包括原位处理和异位处理两大类^[15]。原位处理技术主要包括原位掩蔽处理、原位化学处理、原位生物修复技术等。

底泥异位处理技术主要包括:疏浚、堆放、吹填、土地利用、填方材料、建筑材料等^[16-17]。针对深圳市目前水质底泥条件,将主要的处理方案进行比较,结果见表 3。底泥异位处置方案中,机械脱水法具有较大优势,可分离垃圾、砂料达到减量化、资源化目标,脱水底泥体积可有效减少,故推荐采用机械脱水法。

表 3 底泥异位脱水处置方法优缺点比较
Table 3 Comparison of sediment dewatering methods

处理方案	优点	缺点	是否推荐	
搅拌固化法	造价低、固化效果好、固化产物可资源化利用	养护场地面积较大、需要养护时间	不推荐	
机械脱水法	清淤效率较高,相对环保,砂料可分离并资源化利用,泥饼无须养护,压滤后的底泥体积可有效减小,可直接资源化利用	底泥处理效率相对较低,底泥处理厂面积较大	推荐	
物理脱水固结法	土工管袋脱水法 真空预压固结法	施工简便、经济 施工简便、经济	工期长、用地大、底泥难以资源化利用 工期较长、用地大	不推荐 不推荐
热处理法底泥的干化技术	可分解部分污染物	需专门的处理场所	不推荐	
底泥的焚烧技术	体量大降低	尾气、粉尘难以处理,产能限制	不推荐	
底泥焚烧灰制砖	可资源化利用	产能限制,砖块质量有影响	不推荐	

3 结语

上述研究涉及的黑臭底泥主要为弱碱性的大粒径无机砂质,重金属含量虽高但较稳定不易浸出,适合通过疏浚后机械脱水进行处理。通过以上分析可知,未来进行底泥资源化时将主要从无机砂质及重金属稳定化方面进行资源化技术筛选。

[参考文献]

[1] 王旭,王永刚,孙长虹,等. 城市黑臭水体形成机理与评价方法研究进展[J]. 应用生态学报,2016,27(4):1331-1340.

[2] 赵越,姚瑞华,徐敏,等. 我国城市黑臭水体治理实践及思路探讨[J]. 环境保护,2015,43(13):27-29.

[3] 刘建福,陈敬雄,辜时有. 城市黑臭水体空气微生物污染及健康风险[J]. 环境科学,2016,37(4):1264-1271.

[4] VOLLAND S, KAZMINA O, VERESHCHAGIN V, et al. Recycling of sand sludge as a resource for lightweight aggregates[J]. Construction and Building Materials,2014,52:361-365

[5] 周灵辉. 外秦淮河底泥释放对上覆水水质的影响[J]. 环境监测管理与技术,2003,15(5):41-42.

[6] MATTEI P, ROBERTA P, GABRIELE R, et al. Evaluation of dredged sediment co-composted with green waste as plant growing media assessed by eco-toxicological tests, plant growth and microbial community structure[J]. Journal of Hazardous Materials, 2017,333:144-153.

[7] 吴航,王泽良,黄剑,等. 深圳市政污水排海工程排污混合区

范围的确定[J]. 环境监测管理与技术,2002,14(6):37-40.

[8] 李慧,孙伟香. 城市污泥有机质测定方法研究[J]. 环境与可持续发展,2016,41(5):222-224.

[9] 陈大勇,王里奥,罗书鸾,等. 城市污泥总氮、总磷消解测定方法[J]. 重庆大学学报,2010,33(3):99-102,123.

[10] 姚金玲,王海燕,于云江,等. 城市污水处理厂污泥重金属污染状况及特征[J]. 环境科学研究,2010,23(6):696-702.

[11] 肖本益,刘俊新. pH 值对碱处理污泥厌氧发酵产氢的影响[J]. 科学通报,2005,50(24):2734-2738.

[12] MAHFOUD B, MOUHAMADOU A, NOR-EDINE A. New experimental approach of the reuse of dredged sediments in a cement matrix by physical and heat treatment[J]. Construction and Building Materials,2017,140:432-444.

[13] 华玉妹,陈英旭,田光明,等. 初始 pH 值对污泥中重金属生物沥滤的影响[J]. 农业环境科学学报,2006,25(1):128-131.

[14] 吕佳佳. 黑臭水形成的水质和环境条件研究[D]. 武汉:华中科技大学,2011.

[15] 张春雷,管非凡,李磊,等. 中国疏浚淤泥的处理处置及资源化利用进展[J]. 环境工程,2014,32(12):95-99.

[16] 姜霞,王书航,张晴波,等. 污染底泥环保疏浚工程的理念·应用条件·关键问题[J]. 环境科学研究,2017,30(10):1497-1504.

[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):43-45.