

# 疏浚淤泥建材利用研究进展

崔卫方, 周海云, 王伟霞, 董光辉, 左 武

江苏省环境工程技术有限公司, 江苏 南京  
Email: cuiweifang@jsep.com

收稿日期: 2021年3月19日; 录用日期: 2021年4月20日; 发布日期: 2021年4月27日

## 摘 要

近年来, 环保疏浚是河湖污染防治的主要手段之一, 河湖清淤过程中产生大量含一定污染物的淤泥。主要介绍了环保疏浚淤泥的基本性质, 分析了当前国内外淤泥建材化利用的研究进展, 最后结合各资源化利用方式的限制与应用前景, 做出了总结和建议, 以期为河湖环保清淤淤泥的合理资源化利用提供参考。

## 关键词

环保疏浚, 淤泥, 建筑材料

# Research Progress on Building Materials of Dredging Silt

Weifang Cui, Haiyun Zhou, Weixia Wang, Guanghui Dong, Wu Zuo

Jiangsu Environmental Engineering Technology Co. Ltd., Nanjing Jiangsu  
Email: cuiweifang@jsep.com

Received: Mar. 19<sup>th</sup>, 2021; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2021; published: Apr. 27<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

In recent years, environmental protection dredging is one of the main measures to prevent and control river and lake pollution. A large amount of silt containing certain pollutants is produced during the dredging process. This paper mainly introduces the basic properties of environmentally friendly dredged silt, analyzes the research progress of the utilization of silt building materials at home and abroad, and finally, combining the limitations of various resource utilization methods and application prospects, makes a summary and suggestions, in order to provide reference for the rational resource utilization of dredged silt in rivers and lakes.

## Keywords

Environmental Dredging, Silt, Building Materials

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

河湖环保疏浚是采用机械的方式,将含污染物(如重金属和有机污染物等)的河湖上层沉积物进行定量、精确、有效、安全的清除技术,来减少河湖底泥的内源污染物,为水生生物的恢复创造条件[1]。我国城市超过 90%的河湖水体存在不同程度的污染,而环保清淤是通过直接清理污染底泥、去除河湖污染最直接的手段之一,而且我国清淤量逐年增加,已在太湖、巢湖、滇池在内的 100 多个河湖水库的富营养化控制、黑臭治理与生态修复中发挥了一定的积极作用[2] [3]。如截至 2019 年底,江苏省已累计完成太湖清淤 4100 万方,太湖第二轮清淤即将启动,预计清淤总量 1800 万方,主要利用临时堆场堆放,干化耗时长、效果慢、占地大、环境风险高,给宜兴等环太湖地区土地资源利用带来巨大压力,如何使之进行快速减量化、无害化、资源化,已成为制约河湖生态清淤顺利推进的关键因素。

国内外常见的淤泥处理处置方式主要为堆场堆存、土地利用和建材利用等,我国目前主要以脱水填埋或堆场堆存为主,占用大量土地资源。土地利用多用于污染物含量较低的疏浚淤泥,避免因较高含量的重金属、病原体等有害成分造成的环境风险,存在一定的局限性。建材利用一方面可以实现对淤泥污染物的有效封固,同时也能实现底泥的资源化利用,因而受到越来越多的关注。

## 2. 清淤淤泥的基本性质

淤泥的主要成分为  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等氧化物,含量在 40%~73.63%和 10.09%~20.30%,其中 67%以上的淤泥中  $\text{SiO}_2$  含量大于 60%,同时含有一定量的  $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  等氧化物,属于建材硅酸盐类原料[4] [5],但由于水体污染物的进入,常常使其含有机物、重金属、病原体等有害成分。河湖环保清淤淤泥主要有如下三个特点:一是含水率高。新清淤泥含水率普遍在 50%以上,堆场原位堆积 3 年左右后,表面往下约 30 cm 深处仍处于沼泽状。二是粒径细[6]。徐杨等[7]取南京内秦淮河疏浚淤泥进行粒径分析得出,粘粒(<0.005 mm)含量为 16.7%,粉粒(0.005~0.074 mm)含量为 74.7%,砂粒(>0.074 mm)含量为 8.6%。三是有机质与重金属含量差异较大。本文选取了三个太湖清淤淤泥堆场(1#、2#、3#)的淤泥进行了检测,结果显示有机物含量差异大,但均小于 20%,不能满足《农用污泥污染物控制标准》(GB 4284-2018)要求的耕地、园地、牧草地的浓度限值,但污染物浓度均低于浓度限值,详见表 1。朱培瑜等[8]对太湖 4 个区域沉积物中主要重金属含量 2006~2010 年统计分析得出,镉的变异系数达 114.12%。

## 3. 淤泥资源化建材利用

如清淤淤泥不进行处理,直接采取堆场堆存,一方面是长期占用大量土地资源;另一方面因含水率高,易对环境和人类生存带来威胁;而且随着雨水的冲刷,污染物易随雨水带入河湖,造成二次污染。早期常用的河湖淤泥处理处置方法有农用、焚烧或者填埋。其中,农用主要影响因素为淤泥中的重金属,焚烧的关键问题是一次性设备投资和运营成本高,而填埋易导致水污染并引起滑坡等填埋场的工程灾害,

**Table 1.** Detection result of basic composition and heavy metal content of dredging silt in Taihu Lake**表 1.** 太湖清淤淤泥基本组成及重金属含量检测

指标	分析方法	单位	检测限	1#	2#	3#	GB4284-2018
水分	HJ613	%	—	39.0	59.0	46.7	<60
pH	NY/T 1377	—	—	7.0	7.7	7.8	5.5~8.5
有机质	NY/T 1121.6	g·kg <sup>-1</sup>	1.0	16.1	26.5	16.7	>20%
氨氮	HJ 634	mg·kg <sup>-1</sup>	0.40	0.72	0.69	0.69	—
总磷	HJ 632	mg·kg <sup>-1</sup>	5	573	603	510	—
全氮	LY/T 1228	mg·kg <sup>-1</sup>	5	909	1270	978	—
有效硫	NY/T 1121	mg·kg <sup>-1</sup>	4	390	412	364	—
硫化物	HJ 833	mg·kg <sup>-1</sup>	0.04	31.8	65.4	20.0	—
六价铬	USEPA3060A&7196A	mg·kg <sup>-1</sup>	0.5	ND	ND	ND	—
铅	GB/T 17141	mg·kg <sup>-1</sup>	0.1	31.4	39.6	34.9	<300
镉	GB/T 17141	mg·kg <sup>-1</sup>	0.01	0.25	0.24	0.26	<3
铬	HJ 491	mg·kg <sup>-1</sup>	4	86	102	103	<500
铜	HJ 491	mg·kg <sup>-1</sup>	1	39	44	40	<500
锌	HJ 491	mg·kg <sup>-1</sup>	1	134	134	132	<1200
镍	HJ 491	mg·kg <sup>-1</sup>	3	50	59	58	<100
砷	GB/T 22105.2	mg·kg <sup>-1</sup>	0.01	10.3	12.2	11.3	<30
汞	GB/T 22105.1	mg·kg <sup>-1</sup>	0.002	0.077	0.129	0.103	<3
苯并(a)芘	HJ 805	mg·kg <sup>-1</sup>	0.17	ND	ND	ND	<2
多环芳烃 (PAHs)	HJ 805	mg·kg <sup>-1</sup>	0.17	ND	ND	ND	<5

这些方法或多或少存在一定的局限性[9]。因此，淤泥资源化利用是从根本上解决解决淤泥出路的必然选择，目前常用的河湖淤泥资源化利用研究主要集中在土地利用、填方材料、建筑材料三个方向。

土地利用适用于污染程度较低的疏浚淤泥，目前已经得到应用；填方材料关键因素为固化预处理，目前国外淤泥固化技术已趋成熟，并在工程中得到了广泛应用，如日本固化后用于人工岛、印尼用于高速公路建设、新加坡用于机场等部分建设工程，而我国仍处于实验室研究阶段，暂无规模化工程应用。淤泥建材化利用方面已有较多研究与报道，适用于不同污染物程度的淤泥。已见报道的淤泥可制备的建材包括：陶粒轻集料、水泥熟料、多孔砖等。

### 3.1. 制陶粒轻集料

陶粒轻集料是一种重要的建筑基础原料，因其孔隙多，表观密度小，耐火性强，因而具有轻质、吸水、隔热、隔声和吸声等特点，广泛应用于建筑结构、楼地面垫层、生态缓冲区、建筑屋面等行业。陶粒的主要生产原料为粘土和页岩，属于不可再生资源，国家已出台相关管理办法，而淤泥的主要化学成分与黏土相近，同时高温烧结过程中，淤泥中的无机组分经烧结后提供特定筒压强度要求的骨架结构；有机物在烧结过程中产生孔洞，降低产品堆积密度，提升产品的保温节能和降噪性能；同时，原料烧结后，重金属等被固化在成品中，浸出率大大降低，符合相关国标要求。我国大部分河湖淤泥的成分配比

( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ )/( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{R}_2\text{O} + \text{RO}$ )均在 3.5~10 范围内, 化学成分处于 Riley 三相图的膨胀区内[10]。武胜萍[10]等采用南京市九龙湖淤泥直接烧制出了堆积密度为 1005~1291  $\text{kg/m}^3$ , 筒压强度为 4.85~16.22 MPa 的陶粒; Zou J L 等[11]研究了  $\text{CaO}$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  和  $\text{MgO}$  对陶粒性能的影响, 结果发现在 6%~8% 范围内, 增加  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量可以得到更复杂的结晶相和较少孔隙的高强度陶粒;  $\text{CaO}$  含量的增加, 使陶粒吸水性和筒压强度下降[12]。目前, 在广东、浙江等地区, 已经有小型陶粒厂原料中掺入不同比例的当地河湖淤泥来生产轻质陶粒, 处理成本约 120~140 元/吨, 取得了较好的环境效益和经济效益。

### 3.2. 水泥窑协同制水泥熟料

淤泥主要成分为  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等氧化物, 属于建材硅酸盐类原料, 而生产水泥的基础原料主要为石灰质、黏土质、铁质材料与调节硬化速度与强度等的添加剂, 所以从成分上, 淤泥可以替代黏土来生产水泥熟料, 而且淤泥中因含有部分有机质, 在煅烧过程中, 可以提供部分热量, 降低能耗。相对于水泥窑协同淤泥制水泥熟料而言, 水泥窑协同处置污泥的研究较多, 而且已经得到应用, 如北京水泥厂、华新水泥等。谢丹等[13]利用武汉市水果湖、南湖的淤泥与铁粉、石灰石等进行配比, 制成了符合产品质量要求的硅酸盐水泥。研究表明, 借鉴水泥窑协同处置污水厂污泥, 可使河湖淤泥资源化利用制水泥熟料。水泥窑协同制水泥熟料煅烧温度高, 可有效去除有机物; 大部分重金属被固化在水泥熟料的晶体结构中, 不易浸出, 处理成本约 160~190 元/吨。但协同处置时, 需控制进料含盐量, 如含氯盐较高, 在水泥使用过程中易造成钢筋腐蚀, 影响使用寿命, 同时应执行《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB30485-2013)、《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ662-2013), 严格控制水泥窑协同处置入窑废物中重金属含量与投加量, 水泥熟料中可浸出重金属含量限值应满足《水泥窑协同处置固体废物技术规范》(GB30760-2014)的相关要求。

### 3.3. 制砖

淤泥制砖主要分为免烧砖和烧结砖, 淤泥免烧砖是以脱水淤泥为主要原材料, 掺入水泥、固化剂、骨料和水, 经搅拌、成型、自然养护而成的多孔砖或普通砖[14]; 淤泥烧结砖是以脱水与骨料、粘结剂等混匀后经陈化、成型、焙烧、冷却制得。

陈颖等[15]以福州市晋安河淤泥为主要材料, 研究了含水率、水泥与固化剂用量对淤泥免烧砖性能的影响, 并制备了 MU10.0 淤泥免烧砖。彭博等[16]做了河道淤泥取代砂石来制备淤泥免烧砖的研究, 结果表明: 当掺量为砂石取代率的 15%~20% 时, 所制得的免烧砖试验组抗压强度最大, 达到了 30 MPa 以上, 满足免烧砖强度要求。但其选用的为重金属离子含量较低的淤泥, 保证了免烧砖的环境安全性。根据淤泥添加量不同, 处理成本约 200~220 元/吨。

淤泥制烧结砖的研究较多, 原料配比也不尽相同, Liu [17]做了淤泥和其他固体废物为主要原料烧制多孔的配比研究, 实现了淤泥参量从 20% 至 100% 的突破。也有研究者做了添加不同的工业固废, 并调节配比的研究, 如耿飞等[18]以太湖淤泥和粉煤灰为原料制得烧结砖, 满足国家承重墙(MU10)使用标准, 结果表明: 增加粉煤灰掺量, 砖体吸水率增大, 抗压强度降低。所以参考地方淤泥特性, 制定合理的原料配比与工艺参数, 以淤泥为主要原料烧制烧结砖, 不仅可以解决黏土资源紧缺的问题, 而且淤泥中的有机物在烧制过程中被去除, 重金属被固化, 浸出率大大降低[19], 处理成本约 200~250 元/吨。

## 4. 总结与建议

1) 淤泥建材化利用制陶粒轻集料、水泥熟料、烧结砖, 技术可行。

高温烧结法可使有机污染物在烧结过程中基本全部去除, 重金属被固化在晶体中, 环境风险较低,

可大量去化不同污染程度的淤泥。其中淤泥烧制陶粒处理成本相对较低，但一次性设备投资较大，建议通过协同处理其他固废如污泥、污染物土壤等提高经济效益，为目前最具工程应用前景的方向。

2) 淤泥建材化利用制免烧砖，建议进一步加强技术研究，并建立示范工程。

淤泥固化制免烧砖具有设备投资低、施工简单的优点，但因有机物和重金属的影响，建议加强固化处理技术研究，重点解决淤泥固化后，重金属浸出率及产品随时间的推移，其有机污染物和重金属的迁移与转化等，有效控制资源化产品的环境风险。

3) 建议完善河湖淤泥资源化利用相关技术或规范性文件。

建议尽快出台相应的淤泥综合利用技术规范、污染物控制标准等文件，规范淤泥资源化利用途径，降低资源化利用过程的环境与安全风险，促进淤泥资源化利用，为河湖生态清淤顺利推进提供保障。

## 基金项目

2020年度江苏省生态环境科研课题项目(JSZC-G2020-416); 江苏省科技厅社会发展项目(BE2017631)。

## 参考文献

- [1] 范成新, 钟继承, 张路, 刘成, 申秋实. 湖泊底泥环保疏浚决策研究进展与展望[J]. 湖泊科学, 2020, 32(5): 1254-1277.
- [2] 柳惠青. 湖泊污染内源治理中的环保疏浚[J]. 水运工程, 2000(11): 21-27.
- [3] 房玲娣, 朱威. 太湖污染底泥生态疏浚规划研究[M]. 南京: 河海大学出版社, 2011.
- [4] 周忠华. 高掺量淤泥烧结砖的研制[J]. 砖瓦, 2019(2): 35-37.
- [5] 石稳民, 黄文海, 罗金学, 邱震寰, 邹静. 河湖淤泥制备陶粒轻集料的研究进展[J]. 四川环境, 2020, 39(2): 193-200.
- [6] 崔卫方, 周海云, 许龙奕, 邹明璟, 董光辉. 河湖淤泥土地利用研究进展[J]. 皮革制作与环保科技, 2021, 2(2): 81-83.
- [7] 徐杨, 阎长虹, 许宝田, 邵勇, 阮晓红. 城市河道淤泥特性及改良试验初探[J]. 水文地质工程地质, 2013, 40(1): 110-114.
- [8] 朱培瑜, 魏轲, 陈静, 许艳娟, 周怡. 太湖无锡水域底泥重金属现状及其潜在生态危害评价[C]//中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集: 2011年卷, 2011: 1765-1769.
- [9] 恽文荣, 崔健, 陈玉荣. 浅谈河湖疏浚淤泥资源化的研究现状与展望[J]. 江苏水利, 2015(3): 15-17.
- [10] 武胜萍, 阎奕突, 孙蓬元. 高强淤泥陶粒轻集料的性能与制备技术[J]. 硅酸盐通报, 2018(8): 2395-2399.
- [11] Zou, J.L., Xu, G.R. and Li, G.B. (2009) Ceramsite Obtained from Water and Wastewater Sludge and Its Characteristics Affected by Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, and MgO. *Journal of Hazardous Materials*, **165**, 995-1001. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.10.113>
- [12] Liao, Y.C. and Huang, C.Y. (2011) Effects of CaO Addition on Lightweight Aggregates Produced from Water Reservoir Sediment. *Construction & Building Materials*, **25**, 2997-3002. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.12.034>
- [13] 谢丹, 黄之初, 陈袁魁. 利用淤泥制备水泥熟料的实验研究[J]. 新世纪水泥导报, 2006, 12(2): 16-18.
- [14] 佚名. 建筑地基检测技术规范[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [15] 陈颖, 黄媚, 刘阳杰, 陈建斌. 利用河道淤泥制备淤泥固化免烧砖的试验研究[J]. 福建建材, 2019(6): 6-7.
- [16] 彭博, 李碧雄, 方勇, 陈剑. 直接利用河道淤泥制备免烧砖的初步试验研究[J]. 混凝土世界, 2017(1): 66-70.
- [17] Liu, H.M. and Yang, H.L. (2013) Research on Production Technology of Silt Sintered Porous Brick. *Advanced Materials Research*, **641-642**, 492-495.
- [18] 耿飞, 潘龙, 沈勇林, 张银丰, 傅大放, 赵子龙. 太湖淤泥烧结砖的制备及其性能[J]. 环境科学与技术, 2012, 35(10): 182-185.
- [19] Weng, C.H., Lin, D.F. and Chiang, P.C. (2003) Utilization of Sludge as Brick Materials. *Advances in Environmental Research*, **7**, 679-685. [https://doi.org/10.1016/S1093-0191\(02\)00037-0](https://doi.org/10.1016/S1093-0191(02)00037-0)