

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.018

深圳茅洲河流域底泥污染调查与治理实践

包 晗^{1,2}, 唐颖栋¹, 张依章^{3,4}, 邱 辉¹, 楼少华¹

(1. 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122; 2. 浙江大学 环境与资源学院, 浙江 杭州 310058; 3. 中国环境科学研究院, 北京 100021; 4. 天津市滨海新区环境创新研究院, 天津 300450)

摘 要: 茅洲河流域受长期污(废)水排放、垃圾倾倒和泥沙迁移运动的影响,河道淤积严重,底泥污染问题突出。通过对流域底泥污染的全面调查分析,系统评估茅洲河底泥的污染程度,利用特征污染物的“源-汇”实验吸附解吸特征,计算了茅洲河各区的疏挖量,并评估了清淤对河道防洪和堤岸结构的影响。采用绞吸式挖泥船为主、小型清淤设备为辅的清淤方案,以及泥砂分离+固液分离+板框压滤脱水工艺,对产出物按分级标准进行资源化利用。

关键词: 流域治理; 河道清淤; 底泥处置; 特征污染物; 资源化

中图分类号: TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0099-05

Sediment Pollution Investigation and Treatment Practice in Shenzhen Maozhou River Basin

BAO Han^{1,2}, TANG Ying-dong¹, ZHANG Yi-zhang^{3,4}, QIU Hui¹, LOU Shao-hua¹

(1. PowerChina Huadong Engineering Co. Ltd., Hangzhou 311122, China; 2. College of Environmental & Resource Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100021, China; 4. Research Institute for Environmental Innovation <Tianjin Binhai>, Tianjin 300450, China)

Abstract: Affected by long-term sewage and wastewater discharge, garbage dumping and sediment movement, the river channel deposition and sediment pollution problem became severe in Maozhou River basin. Through a comprehensive investigation, the sediment pollution degree was systematically evaluated. The dredging volume was calculated by each partition through analyzing absorption-desorption characteristics in the “source-influx” experiment, the influence on flood control and bank structure was also evaluated. The dredging project was conducted mainly by a cutter suction dredger, and supplemented by small dredging equipment. It adopted the sludge-sand separation, solid-liquid separation, and plate-frame pressure filtration process to treat the dredged sediment, and the output was recycled according to the classification standards.

Key words: watershed management; river dredging; sediment treatment; characteristic pollutant; recycling

1 流域背景

茅洲河位于深圳市西北部,流域面积 388 km²,流经深圳、东莞两市,一、二级支流共计 58 条。历史上茅洲河流域是原宝安县的主要产粮区,洪涝灾害频发。20 世纪 90 年代以来,随着城镇建设用地逐渐增加,两岸耕地面积逐年缩减,侵占河滩现象开始出现。进入 21 世纪以来,流域内聚集了一批电镀线路板等配套生产企业,居住人口开始暴发式增长,而建成区基础设施建设滞后,大量的固体废物、生活污水、工业废水进入茅洲河干(支)流,河床不断淤积严重侵占行洪断面,同时污染底泥不断释放有机污染物,成为茅洲河流域水体持续黑臭的重要原因之一^[1]。

2 河道淤积特征

茅洲河为宽缓的浅“U”型河流,宽 60 ~ 330 m,深 1 ~ 4 m,上游段因地形落差较大,淤积情况相对较轻,而下游段的平均坡降为 0.071%,叠加珠江口潮汐影响,河床淤积严重,淤滩宽度约占现状河底宽度的 65% ~ 80%,淤积断面约占河道行洪断面的 10% ~ 25%。茅洲河支流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,部分河段甚至无法分辨河道形状。本项目研究范围为茅洲河干流河口至白沙坑段和其一级支流沙井河。

对干流底泥粒径分布进行分析(见图 1),其成分为淤泥和夹于淤泥之中的淤泥质中砂和中粗砂夹层,砂砾含量平均为 37.1% (质量分数),含量较高。不同深度粒径大体分布趋于吻合,说明茅洲河流域历年沉积过程较为稳定。

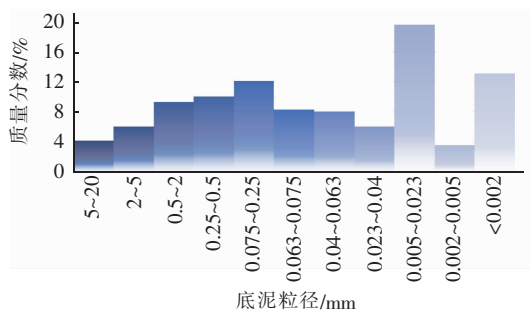


图1 茅洲河底泥粒径分析

Fig. 1 Analysis of sediment particle size in Maozhou River

对底泥钻孔采样初勘(见图 2),结果表明茅洲河干流底泥含水率均值为 36.1%。黑臭底泥与污染较轻的土样之间有较为明显的颜色分界线,黑臭底泥厚 0.4 ~ 1.8 m,普遍约 1 m。流域内工业用地

占建成区面积的 40%,聚集了 3 万余家工业企业,以电子加工、机械制造为代表的行业,重金属污染排放量大,因此对底泥样品重金属元素进行分析,对照国家土壤环境标准,发现 Cu、Zn、Ni、Cr 等元素超标,其中个别点位 Cu、Ni 超标严重,最大值可分别达到 6.4、6.8 g/kg。重金属在生物体内积累,严重威胁流域生态安全,影响居民健康。



图2 典型泥样分层特征

Fig. 2 Typical hierarchy characteristic in sediment samples

3 河道清淤量确定

区别于传统水利疏浚,茅洲河这类污染严重的河道,底泥清淤需同时满足防洪和环保的双重要求,在满足河道防洪清淤要求的基础上,需要详细调查分析底泥污染情况,确定环保清淤范围和深度。当清淤深度不足时,无法去除重度污染层,达不到环保清淤的目的;清淤深度过大,则有可能对河道底部生态系统造成难以恢复的破坏,并会削弱河道底泥对外源性污染物输入后的缓冲作用,对后期的水体生态修复造成困难^[2]。为了科学确定茅洲河清淤量,采取如图 3 所示的技术路线。

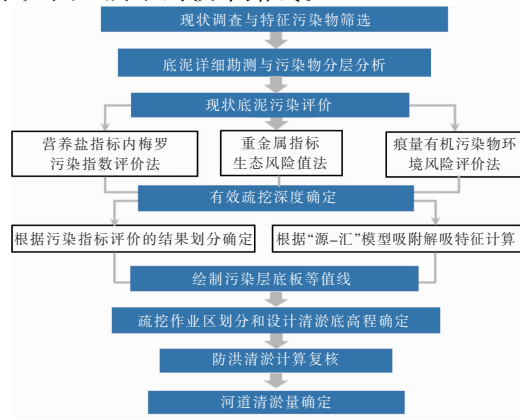


图3 茅洲河清淤量分析技术路线

Fig. 3 Technical route for analysis of Maozhou River dredging volume

为全面评估流域底泥污染情况,将特征污染物分为 3 大类:底泥营养盐、重金属和有毒有机物。底泥中的营养盐包括总氮(TN)、总磷(TP)、有机质(OM)等指标,底泥中的重金属包括 Cu、Cr、Cd、Ni、Zn、Fe 和 Mn 等,底泥中的有毒有机物包括邻苯二甲酸酯类(PAEs),多环芳烃类(PAHs)的萘、苊、二氢苊、芴、蒽、菲、荧蒽、芘以及多氯联苯(PCBs)等^[3]。

底泥详勘利用工程钻机进行河道内污染底泥的柱状样采集,按照 100~200 m 设置观测断面、300~400 m 设置勘测断面、300~500 m 设置控制断面,河宽<200 m 的断面设置 1~2 个采样点,河宽>200 m 的断面设置 2~3 个采样点,局部地形变化较大处、入海口处或水污染较重水域酌情加密布设勘探点位(见图 4),采用 GPS 定位,并在岸边设置高程控制点,对采样垂直定位。根据初勘及其他河流污染底泥柱状样的经验,茅洲河污染底泥采集后,可根据其污染程度,在垂直方向上分为污染底泥层(A 层)、污染过渡层(B 层)和正常河泥层(C 层)。根据前期研究资料,分别设定 A、B、C 层的取样间距为 0.1~0.2、0.1~0.5、0.5~1 m,可适当调整。

表 1 茅洲河底泥营养盐和重金属污染评价

Tab. 1 Pollution assessment of nutrients and heavy metals in sediment of Maozhou River

污染物	评价方法	指数均值	指数最大值	指数最小值	污染评价
营养盐—TN	内梅罗污染指数法	2.23	11.53	0	重度污染
营养盐—TP		1.92	10.54	0.02	重度污染
重金属	生态风险值法	A 层:1 458 B 层:331 C 层:120			A 层:极强生态风险 B 层:强生态风险 C 层:轻微生态风险

基于不同分区沉积物在不同深度的总氮、总磷、重金属等污染物质含量变化,绘制污染层底板等值线,根据不同沉积物柱状样氮、磷吸附解吸实验,确定了风险清淤深度和达标清淤深度。其中达标清淤深度是对照茅洲河的地表水 V 类水质治理目标,以吸附解吸实验结果得到上覆水为地表 V 类水标准时平衡浓度对应的疏挖深度;风险清淤深度指结合不同深度沉积物中重金属风险值以及总氮、总磷含量特征,并参考吸附解吸实验结果确定疏挖深度。环保疏挖深度采用茅洲河防洪清淤深度计算结果复核,最终得出:茅洲河下游干流和沙井河支流的风险清淤量为 $504 \times 10^4 \text{ m}^3$,达标清淤量为 $349 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

4 河道清淤影响评估

4.1 茅洲河干流影响分析

茅洲河河口~洋涌河水闸段,茅洲河清淤前洋

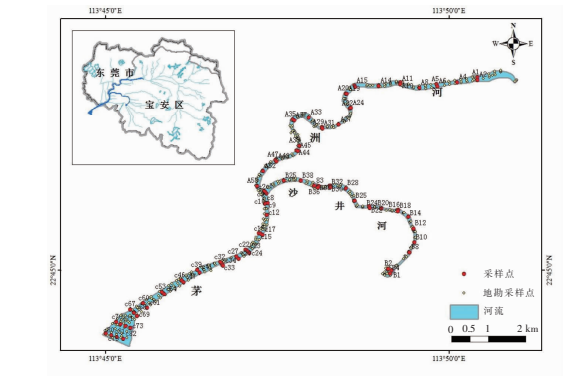


图 4 茅洲河下游干流和支流沙井河底泥勘测点位布设
Fig. 4 Layout of sediment survey points in the mainstream of the lower reaches of Maozhou River and its tributary Shajing River

现状底泥污染评价(营养盐、重金属和痕量有机污染物等)分别采用内梅罗污染指数法、生态风险值法和环境风险评价法。营养盐和重金属污染评价结果见表 1,其污染物浓度量级严重威胁了流域生态安全。而痕量有机污染物评价则表明底泥中的 PAEs、PAHs 和 PCBs 等物质浓度均存在一定环境风险,需要采取治理措施^[4]。

涌河水闸下游河底高程约 -0.90 m(最深),茅洲河河口河底高程约 -3.10 m(最深),河道长约 14 km,河道天然纵坡约 0.015 8%。茅洲河清淤后洋涌河水闸下游河底高程约 -2.00 m,茅洲河河口河底高程约 -4.00 m,河道长约 14 km,河道天然纵坡为 0.014 3%,清淤后整体纵坡改变不大。

茅洲河清淤前河床横断面平顺,呈 U 形,本次清淤将某些河段清淤至统一河底高程,两边放坡,河床呈倒梯形。清淤完成后经水流往复冲刷后,将重构 U 形河道,因此,清淤对干流防洪和堤防结构影响可控。

4.2 沙井河支流影响分析

由于沙井河污染较为严重,达标清淤深度较深,最深处低于设计河底标高约 1.60 m,对河床形态改变较大,且经核算清淤厚 2.20 m 河段堤防整体抗滑

稳定安全系数分别为施工期 0.750、稳定渗流期 0.747、水位骤降期 0.740, 不满足规范要求。因此, 采用抛石护脚, 清淤作业时按 300 m 分为一个单元, 两侧堤脚抛石反压, 作为永久堤防的一部分, 之后再行清淤作业。

表 2 清淤方案对比

Tab. 2 Comparison of dredging schemes

方 案	优点	缺点
抓斗式挖泥船 + 泥驳方案	最大程度保持底泥现状含水率不变	①抓斗式挖泥船对开挖深度不易控制; ②开挖浅层淤泥难以控制, 开挖工作面不平, 并且对液态底泥难清除, 若底泥中含有块石等杂质, 抓斗难以闭合; ③对通航水深有要求, 必须配备泥驳运泥, 导致茅洲河上通航压力大, 且受涨落潮影响较大
绞吸式挖泥船 + 输泥管方案	①清淤效率高、底泥输送方便环保; ②对茅洲河通航影响较小; ③对水质影响小, 周边环境的影响较小	上岸的底泥含水率高, 需要较大的沉淀池、浓缩池

本工程考虑茅洲河及支流清淤量分布和通航条件, 将清淤河段划分为 3 段, 分别细化清淤及转运方案 (见图 5)。

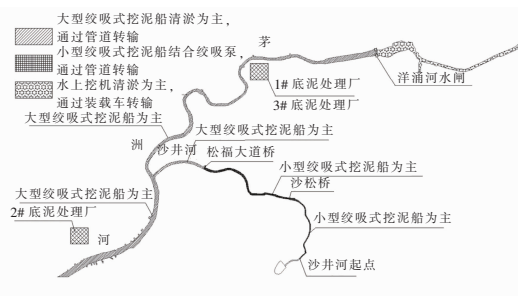


图 5 茅洲河各河段清淤方案

Fig. 5 Dredging schemes in each section of Maozhou River

首先, 茅洲河干流洋涌河水闸下游段和沙井河松福大道桥下游段河面宽度达 80 m 以上, 河道通航条件好, 污染也最为严重, 因此选用高效的海狸 1200 型绞吸式挖泥船, 采用全封闭管道输泥, 不会产生泥浆散落或泄漏, 在清淤过程中对河道通航影响较小, 同时采用 GPS 和回声探测仪进行施工控制, 可提高施工精度, 精确定位达标清淤深度。

对于洋涌河水闸以上的干流河段, 考虑清淤深度较浅, 平均河水深度不足 1.2 m, 因此采用较为经济的水上挖机进行清淤, 通过加盖装载车运输至底泥处理厂处置。

最后, 对于沙井河松福大道桥上游段, 多数河段通航能力较低, 且存在侵占河面的情况, 因此选用小型绞吸式挖泥船, 配合水陆两用绞吸泵, 通过输泥管将底泥运送至底泥处理厂。

5 清淤方案

本次清淤包括茅洲河干流 (洋涌河水闸 ~ 河口) 及沙井河全部, 洋涌河水闸以下茅洲河和沙井河 (部分) 是 IV 级通航河道。对通航河道提出两种清淤方案进行比选, 具体见表 2。

6 底泥处置与消纳

6.1 入厂检测

茅洲河的污染底泥处置前都需进行物理和化学特性检测, 其中物理特性分析包括含水率、比阻、可燃基含量、低位热值等; 化学特性分析包括重金属污染物含量、有机污染物含量及其他污染物等。各指标分别划定阈值, 进行分级, 便于后续处理工艺根据不同批次的底泥性质进行调整。

6.2 处置工艺

茅洲河底泥处置采用异位处理方式, 采用泥砂分离 + 固液分离 + 板框压滤脱水工艺。该工艺由泥砂分离系统、固液分离系统、改性拌和系统、均化调理系统、脱水成固系统、余水系统六大主体部分及洗砂系统、堆场系统等辅助系统组成 (见图 6)。该工艺稳定、可靠, 工程案例多, 缺点是施工占地较大, 对周边影响较大。在工程中适用于用地指标较宽松、对周边影响较小的底泥处理厂。

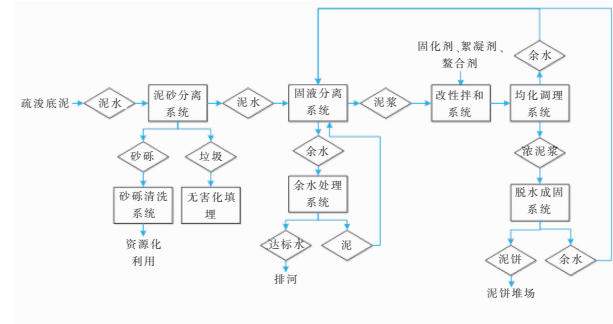


图 6 茅洲河底泥处置工艺

Fig. 6 Dredged sediment treatment route in Maozhou River basin

6.3 产物消纳

茅洲河底泥经过预处理、机械脱水等工艺处置后,产物为余水、垃圾、砂砾、泥饼四类。余水经污水处理站处理达标后排河;垃圾运至垃圾填埋场进行填埋处理;较粗颗粒(砂砾)清洗后,参照《建设用砂》(GB/T 14684—2011)进行资源化利用;压滤后泥饼含水率不高于 40%。茅洲河底泥处理厂从底泥中分拣出的垃圾送至垃圾焚烧厂发电;石块、碎石作为建筑材料用于河道工程;泥饼首先需经过浸出液检测,依据深圳市《河湖污泥处理厂产出物处置技术规范》(SZDB/Z 236—2017),达到Ⅱ级标准的泥饼烧制透水砖,回用于茅洲河景观和沿岸的燕罗湿地等市政铺装,对于不符合Ⅱ级及以上标准的泥饼进行外运弃置;余水则经过强化处理设施处理达到一级 A 排放标准后,排入茅洲河。各类产出物经过厂内实验室自检、第三方检测和环保部门抽检,保障产出物的环境风险控制符合国家和地方标准。

7 结论

茅洲河底泥污染情况复杂、淤积体量大,缺乏可参照的治理经验,为保证工程的实施效果与经济性,在实施前进行了大量的底泥污染情况调查与分析,经过实验分析与现场试验,严谨确定了底泥的清淤和无害化处置方案。茅洲河干流共和村国考断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 浓度在工程实施前为 33.6 mg/L,在清淤工程及其他控污措施共同实施后的 2018 年底降至 4.7 mg/L,降幅达 86%,同时河道底栖生物得到了较好恢复。

参考文献:

- [1] 王阿华. 城市建成区黑臭河道治理难点分析及措施探讨[J]. 中国给水排水, 2019, 35(18): 23-26.
WANG Ahua. Analysis on the difficulties and treatment

measures of black-smelly river in urban built-up area[J]. China Water & Wastewater, 2019, 35(18): 23-26 (in Chinese).

- [2] 周笑白,张宁红,张咏,等. 太湖水质与水生生物健康的关联性初探[J]. 环境科学, 2014, 35(1): 271-278.
ZHOU Xiaobai, ZHANG Ninghong, ZHANG Yong, et al. Preliminary study on the relationship between the water quality and the aquatic biological health status of Taihu Lake[J]. Environmental Science, 2014, 35(1): 271-278 (in Chinese).
- [3] 宁增平,蓝小龙,黄正玉,等. 贺江水系沉积物重金属空间分布特征、来源及潜在生态风险[J]. 中国环境科学, 2017, 37(8): 3036-3047.
NING Zengping, LAN Xiaolong, HUANG Zhengyu, et al. Spatial distribution characteristics, sources and potential ecological risk of heavy metals in sediments of the Hejiang River[J]. China Environmental Science, 2017, 37(8): 3036-3047 (in Chinese).
- [4] 麦碧娴,林峥,张干,等. 珠江三角洲河流和珠江口表层沉积物中有机污染物研究——多环芳烃和有机氯农药的分布及特征[J]. 环境科学学报, 2000, 20(2): 192-197.
MAI Bixian, LIN Zheng, ZHANG Gan, et al. Organic contaminants in surface sediments from rivers of the Pearl River Delta and Estuary—the distributions and characteristics of PAHs and organochlorine pesticides[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2000, 20(2): 192-197 (in Chinese).

作者简介:包晗(1990-),男,浙江湖州人,博士,高级工程师,主要从事流域水污染防治方案设计及相关技术研究工作。

E-mail:zhao_sy3@hdec.com

收稿日期:2020-10-05

修回日期:2021-05-31

(编辑:衣春敏)