

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2022.20.007

流域水环境综合整治中“泥”的治理策略研究

唐颖栋¹, 包 晗¹, 曾学云², 邱 辉¹, 邹旭彤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. 深圳市宝安区水务局, 广东 深圳 518100)

摘 要: 泥的治理是水环境综合整治的重要方面,其对象可包括河湖底泥、通沟污泥、污水处理厂污泥、化粪池粪渣和工程建设泥浆等。在茅洲河流域水环境治理中,创新采用“就地减量+二次处理+资源化利用”“六边工程”等工作模式,对泥分类清挖处置。重点针对河湖底泥、通沟污泥和工程建设泥浆,采用杂物分离、多级提砂、调理改性、板框压滤等工艺环保处置,并对产出物进行资源化利用,为流域尺度系统治泥提供了可借鉴的实践经验。

关键词: 水环境综合治理; 污泥; 通沟污泥; 河道底泥

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2022)20-0036-05

Study on the “Sludge” Treatment Strategy for the Comprehensive Improvement of Water Environment in River Basin

TANG Ying-dong¹, BAO Han¹, ZENG Xue-yun², QIU Hui¹, ZOU Xu-tong¹, LOU Shao-hua¹

(1. PowerChina Huadong Engineering Corporation Limited, Hangzhou 311122, China; 2. Shenzhen Bao'an District Water Bureau, Shenzhen 518100, China)

Abstract: Sludge treatment is an important component of the water environment comprehensive improvement projects. The sludge here mainly involves river/lake sediment, sewer sludge, municipal sewage sludge, excrement dregs of septic tanks and slurry from construction projects. In the project of water environment comprehensive improvement in Maozhou River basin, the innovative pattern of “in-situ reduction + secondary treatment + resource utilization” and “six-party simultaneous project” work were adopted to sludge treatment. For the river/lake sediment, sewer sludge and slurry from construction projects, environmentally friendly treatment processes including debris separation, multi-stage sand extraction, sludge conditioning and plate-frame pressure filtration were applied to achieve resourceful utilization. The successful experience provides reference to similar projects at a river basin scale.

Key words: water environment comprehensive improvement; sludge; sewer sludge; river sediment

近些年,我国广泛开展城市黑臭水体治理行动,《城市黑臭水体整治工作指南》将污染底泥的清

淤处置列入内源治理范畴,水污染治理取得了积极成效。与“黑臭表象在水中,根源在岸上”的道理相

基金项目: 广东省重点领域研发计划项目(2019B110205005)

通信作者: 唐颖栋 E-mail: tang_yd2@hdec.com

同,流域水环境治理中治泥的着手点不应局限在末端的受纳水体,而是要从排水系统中泥的来源和迁移过程进行梳理,阻断向末端水体的汇集。除了自然淤积,各类城市建筑渣土、排水设施的污泥都加速了末端河湖底泥的形成。2015年颁布的“水十条”强调了污水处理设施要从“重水轻泥”向“泥水并重”转变,《“无废城市”建设试点工作方案》也明确将建筑垃圾治理列为重要工作。从国家政策层面看,对各类泥的减量化、资源化处置将是一项长期的重点工作。

深圳茅洲河流域水环境治理工程于2015年启动,在388 km²流域范围内遵循“流域统筹,系统治理”思路,围绕“污水、雨水、泥”三者的协同治理展开工作。在泥的治理方面,依靠工程治理与城市管理相结合,从排水系统源头及路径阻断污染物的成泥和迁移,取得了较好的治理成效。

1 茅洲河流域泥的来源

在茅洲河流域水环境治理工程中,泥的来源主要包括河湖底泥、通沟污泥、污水处理厂污泥、化粪池粪渣和工程建设泥浆等五类。由于污水处理厂污泥的处置权责与运营主体绑定,因此流域内8座污水厂的污泥未纳入本工程处置。

茅洲河流域集雨面积1 km²以上的河流有59

条,干支流总长284.5 km,河道冲蚀-沉积作用明显,中下游河道淤积严重。受流域内不健全的污水收集系统和长期工业废水偷排影响,底泥中的营养盐和重金属污染严重。一方面河道淤积侵占防洪断面,另一方面感潮段的潮汐扰动强化了底泥中污染物的解吸,造成水体黑臭加剧^[1]。

在排水系统方面,工程实施时流域内存量污水干管约231 km,由于长期疏于管养,存在各类病害淤积问题;而总长度约614 km的各类暗涵、汉流、沟渠也存在不同程度的淤积。因此,区域内通沟污泥点多面广,不断向茅洲河输入污染物,同时也冲击着脆弱的污水系统^[2]。

虽然化粪池在新建城区的排水系统中已逐渐被取消,但对收集系统不完善、整体建设标准较低的茅洲河流域而言,其存在仍具有重要意义^[3]。茅洲河流域化粪池数量达4.9万余座,粪渣的安全、规范的处置对切断污染迁移、消除公共卫生隐患有重要意义。

此外,流域水环境治理工程自身涉及大量管网、基础结构施工,高峰期作业面近千个,叠加城市地铁、房建等项目施工,会产生大量工程建设泥浆,需要统筹考虑。茅洲河流域各类泥的主要性质及产量见表1。

表1 茅洲河流域各类泥的主要性质及产量

Tab.1 Main characteristics and yields of sludges in Maozhou River basin

项 目	主要性质	流域产生量	备注
河湖底泥	含水量平均为36.1%,砂砾含量平均为37.1%;营养盐、重金属污染严重,热值较低	420×10 ⁴ m ³	本次流域河道清淤工程量
通沟污泥	以泥砂等无机物为主,垃圾杂物较多,有机质含量平均为20.1%,热值较低	42×10 ⁴ m ³	以2019年底泥处理厂接收量计(进厂含水率约90%)
化粪池粪渣	固形物以未完全矿化的有机物为主,环境污染风险高,热值高	58×10 ⁴ t/a	理论数据(含水率为96%)
工程建设泥浆	固形物以泥砂、碎石等无机物为主,污染程度较低,热值低	23×10 ⁴ m ³	以2019年底泥处理厂接收量计(进厂含水率约60%)

2 泥的分类治理思路

2.1 工程建设泥浆处置

茅洲河流域水环境综合治理工程的施工泥浆主要来自雨污分流管网工程,施工前需严格做好详细地勘和雨季排水工作,从源头减量泥浆产生。对于所产泥浆采取“旋流泥浆分离机+沉淀池”的就地减量方式。分离出的泥通过全封闭罐式运输车送至新建茅洲河底泥处理厂深度处理,厂内分离出的砂砾资源化回用于建设工程。

2.2 化粪池粪渣处置

鉴于流域范围内化粪池数量多,分布广,基于“就地减量+深度处理+资源化利用”的处置思路(见图1),就地减量阶段采用一体化粪污处理车,其内置的药剂调理池、化学处理池和固液分离等单元可将吸取的粪污处理为含水率40%的粪渣和余水。余水直接排入市政污水系统,粪渣则送往打包车间深度处理,进一步脱水至35%含水率,之后送至焚烧车间直接焚烧发电,实现资源化利用。本工程中

粪渣的全过程处理成本控制在400~480元/m³。

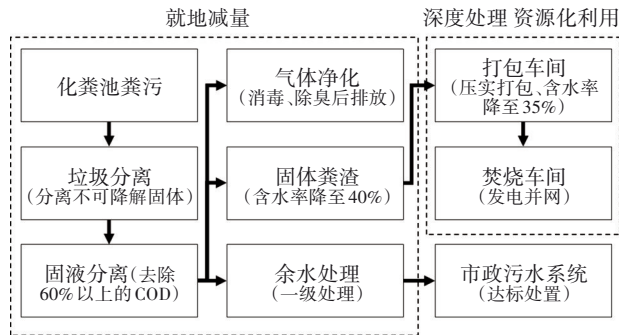


图1 化粪池粪渣处置路线

Fig.1 Flow chart of excrement dregs treatment

2.3 通沟污泥处置

通沟污泥量多面广,排查工作量大,为避免重复作业,清淤作业与水环境治理工程中的污水管网缺陷检测修复、老旧雨水管网检测修复以及暗涵雨污分流改造子项工程同步实施,按照“三步路线”推进,采取“六边工程”模式(见图2)实施。

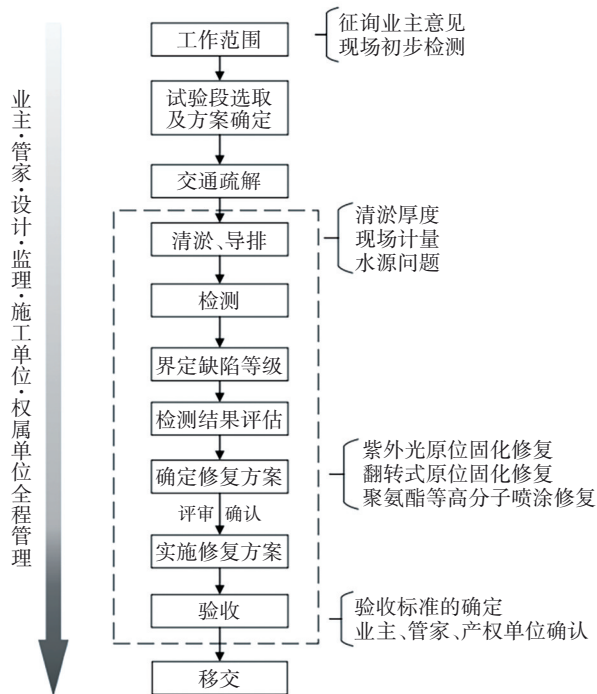


图2 “六边工程”实施路线

Fig.2 Flow chart of “six-party simultaneous project”

“三步路线”是指项目采用试点→总结→推广的策略推进。由于缺乏如此大范围工程实施的借鉴案例,本工程选取了宝安片区5段污水干管共3.5 km作为试验段,在形成标准化、程序化、表单化的作业规程后,再向片区内1 094 km市政污水管、

1 320 km市政雨水管和614 km暗涵、汊流及明渠推广实施。“六边工程”则是指采用“边清淤、边检测、边设计、边修复、边验收、边移交”的创新工作模式,在保障工程高效推进的同时,明确了工程边界及权责。“六边工程”实施时需做到业主、项目管家、设计、监理、施工单位、权属单位同时到位。

采用水力冲淤方式清理管道沉积物,利用吸污车吸出管内污水、淤泥和砂石,较大垃圾杂物采用人工方式从检查井内清出,作为市政垃圾进行处理;暗涵清淤则主要采用清淤机器人作业。沉积物全部封闭转运至底泥处理厂集中处置。

2.4 河道底泥处置

河道底泥的清淤处置是茅洲河治理的重要内容。采样分析显示,茅洲河流域几乎所有河道的底泥污染均很严重。考虑到国内外无可借鉴的工程案例,经反复论证,制定了如图3所示的技术路线。

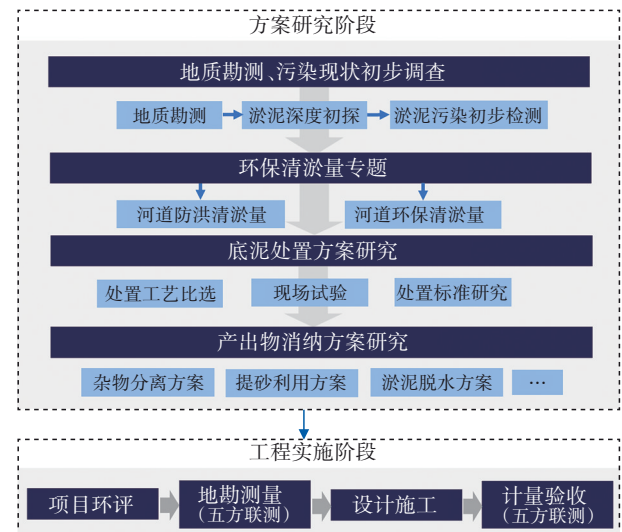


图3 河道污染底泥治理工程路线

Fig.3 Flow chart of contaminated river sediment treatment

① 地质勘测、污染现状初步调查

地质勘测结果表明,茅洲河干流河床主要成分为淤泥、中砂和中粗砂,砂含量整体较高,因此后续处置工艺设计中需设置提砂工艺。对流域内16处淤泥柱状样品的检测表明,底泥重金属和有机物污染远高于国内已知河湖污染程度,科学制定茅洲河水质达标所需的清淤范围及深度成为最大难点,对此,开展了环保清淤量专题研究。

② 环保清淤量专题研究

将茅洲河干流中下游和主要支流沙井河划分

为3个片区、46个断面,布设86个采样点,取样深度0~3 m,对底泥物理特性、营养盐、重金属、毒性有机物等指标进行检测。结果表明,底泥中的主要污染物为有机质、重金属,其中铜、锌、镍、铬等重金属浓度超过《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 36600—2018)三级标准,铜和镍超标最为严重,分别超标15.0倍和33.4倍,且污染深度普遍在1.0~1.5 m以内^[4]。营养盐中氮、磷的平均浓度分别为1 781.2 mg/kg和1 256.6 mg/kg,主要分布在表层0~1 m。

为了确定清淤深度,利用底泥营养盐的“源-汇”过程模型,基于茅洲河地表水Ⅴ类水的水质目标,分析氮、磷的吸附解吸特征(见图4),确定各个区域的环保疏挖深度,利用防洪清淤量复核,得到分区疏挖量,最后论证了清淤对水质的改善效果。

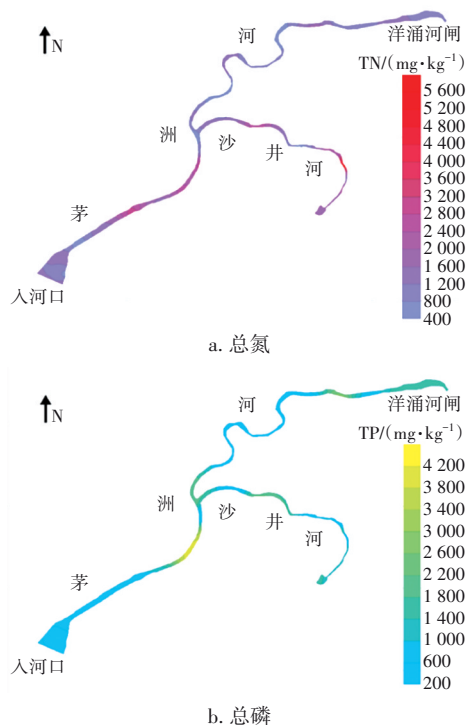


图4 茅洲河与支流沙井河的底泥总氮和总磷浓度分布

Fig.4 Distributions of TN and TP in sediments of Maozhou River and its tributary, Shajing River

③ 底泥处置方案研究

脱水是底泥处置的核心工艺,目前工程中采用的底泥处置方法主要包括物理脱水固结法、热处理法、机械脱水法和固化剂固化整合法等。考虑到茅洲河流域清淤总量达 $420 \times 10^4 \text{ m}^3$,且实施进度紧,在现场实验基础上,选用调理改性+机械脱水法,即在

泥砂分离后进入调理池调理,经过板框压滤设备进行脱水。

④ 产出物消纳方案研究

茅洲河底泥处置主要产出物为分离出的垃圾、砂料和脱水余土,均可进行资源化利用。为严格控制底泥产出物的质量,本项目制定了《河湖污泥处理厂产出物处置技术规范》,并上升为深圳市地方标准。规范对余土分为四级,满足对应的污染控制指标要求后可分别用作绿化用土、烧结砖原材料、场坪用土及回填土等。

在项目环评阶段,本项目在建设项目环境影响评价管理中的归类遇到了难题。对于茅洲河清淤工程归类为环境治理类下的一般工业固体废物(含污泥)处置及综合利用项目,还是归为水利类下的河湖整治项目,多方存在较大分歧,不同项目类别对应的报告类型、各环境要素的评价等级和评价要求都有较大区别。对此,广东省原省环保厅专门发函向原国家环保部请示,在来函回复中明确清淤工程应归为河湖整治项目进行环境影响评价管理,项目得以继续推进。

3 茅洲河底泥处理厂建设运行实践

茅洲河流域共新建4座底泥处理厂,接收处置对象为流域内河湖底泥、通沟污泥和工程建设泥浆,其处理工艺流程见图5。

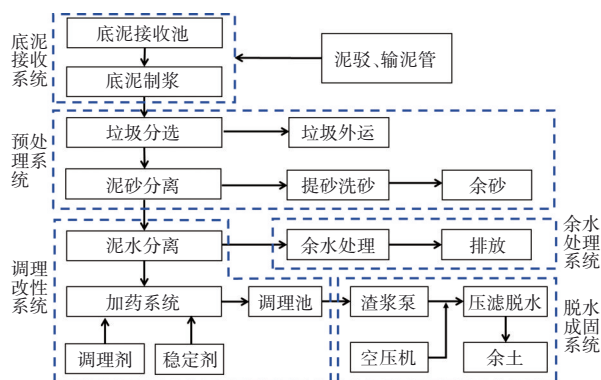


图5 茅洲河底泥处理厂工艺路线

Fig.5 Process flow diagram of Maozhou River sediments treatment plant

以河道底泥处置为例,茅洲河底泥通过泥驳或输泥管输送至底泥接收池,制成泥浆;随后进入杂物垃圾分离单元,通过三级固液分离设备及螺杆筛分设备筛出5 mm以上的垃圾、石块。筛下物随后进入泥砂分离单元的沉砂池,经过排砂螺杆和旋流除

砂装置的两次提砂,可将0.2 mm级的砂砾分离出来。提砂后的泥浆进入调理改性系统,利用螯合剂钝化重金属,调理底泥性质;最后进入脱水成固系统,采用板框压滤机对淤泥脱水,产出物的含水率 $\leq 35\%$,全过程处置成本控制在100~130元/ m^3 。

茅洲河底泥处理厂的产出物经过厂内实验室自检、第三方检测和环保部门抽检,能够保障产出物的环境风险控制符合国家和地方标准。产出物中的垃圾直接送往垃圾焚烧厂;石块和碎石作为建筑材料回用于工程;余水经过一级强化处理后达标排放;产出的余土经过检测后,依据地方标准分类可作为建材原料或者进行土地利用或者外运弃置。其中部分余土制成陶粒、环保透水砖等新型绿色建筑材料,用于茅洲河景观工程,实现底泥资源化再利用。

4 总结与思考

茅洲河流域的治泥实现了从河湖水体末端向上游排水环节的延伸,实践充分发挥了EPC工程优势,采用“三步路线”“六边工程”等创新模式,在流域范围内实现对各类泥的统筹考虑、主动管理。一批高标准、专业化的底泥处理厂在满足本工程范围内淤泥的安全处置需求外,将转变为永久性环境治理设施,长期运行。由于茅洲河实践是以解决流域性黑臭水体问题为出发点,其采取的整体打包实施模式具有一定特殊性,一般城市对各类泥的管控主要还是落实于相关职能部门的日常监管,对此给出以下几点思考和建议:

① 对于工程建设产生的泥,积极建立城市综合泥渣台账制管理系统,以行政区域为单位统一管理。对各类污泥实行“产出方、运输方、处置方、监管方”四联单制度,各环节核实泥源和泥量,加强执法监管,打击城市污泥非法倾倒和不达标处置。

② 对于城市运行中产生的泥,推广建设一批高标准处理设施。建议每100 km^2 建成区宜建设一座城市底泥处理厂,制定河湖、管网、渠涵清淤计划,与污水厂、垃圾焚烧厂一样作为市政环境设施长期运行。对于保留化粪池数量较多的城市,可建设专业化粪渣处置中心。

③ 推广城市产泥环节的污染拦截设施建设。在城市排水系统梳理基础上,针对小餐饮街区、洗

车机修商户等面源污染严重区域,建设一批环保雨水口、沉泥井、餐饮污水集中倾倒收集设施,从源头阻断泥的集中产生。

④ 组建专业运维队伍,打通城市管理部门边界。应保证合流管每年清淤一次,分流制主要雨水排放管涵宜在汛期前后各清淤一次,清淤过程中严禁将沉积物冲入下游水体。打通城市排水、环卫、河道管养单位的责任边界,做到岸上岸下、水面水底一体化、专业化管理。

参考文献:

- [1] 余光伟,雷恒毅,刘广立,等. 重污染感潮河道底泥释放特征及其控制技术研究[J]. 环境科学学报, 2007, 27(9):1476-1484.
YU Guangwei, LEI Hengyi, LIU Guangli, *et al.* Research on the characteristics of sediment release in a heavily polluted tidal river and control technologies[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(9): 1476-1484(in Chinese).
- [2] 唐建国,张悦,梅晓洁. 城镇排水系统提质增效的方法与措施[J]. 给水排水, 2019, 45(4):30-38.
TANG Jianguo, ZHANG Yue, MEI Xiaojie. Strategies and methods for improving the quality and efficiency of the urban drainage system [J]. Water & Wastewater Engineering, 2019, 45(4): 30-38(in Chinese).
- [3] 魏薇,马晓明. 深圳市粪渣污泥污染防治管理现状及对策分析[J]. 环境与发展, 2018, 30(6):34-36.
WEI Wei, MA Xiaoming. Management status and countermeasures of pollution control of fecal slag sludge in Shenzhen City [J]. Environment and Development, 2018, 30(6): 34-36(in Chinese).
- [4] YU K, DUAN Y H, LIAO P, *et al.* Watershed-scale distributions of heavy metals in the hyporheic zones of a heavily polluted Maozhou River watershed, southern China[J]. Chemosphere, 2020, 239:124773.

作者简介:唐颖栋(1975-),男,浙江绍兴人,硕士,教授级高级工程师,主要从事流域水环境治理研究工作。

E-mail: tang_yd2@hdec.com
29830967@qq.com

收稿日期:2020-05-01

修回日期:2020-06-11

(编辑:丁彩娟)