

苏四期底泥疏浚与处置专题研究

汤秀翔

(河海大学设计研究院有限公司上海分公司, 上海市 200080)

摘要:上海市在底泥处置中首次采用生态土管袋工艺,在新工艺于工程中实际运用之前,通过专题研究并在中试工作中进行先期实验,验证其可靠性、有效性和经济性,来降低决策风险。结合苏州河底泥特性,对脱水助剂各化学成分配比进行试验后改进。生态土管袋工艺处置苏州河底泥后降低重金属的活性,达成底泥中重金属的固定和稳定,减轻土壤浸出毒性。

关键词:底泥疏浚;底泥处置;底泥中试;浸出毒性

中图分类号: TV882.8

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)02-0114-06

1 研究背景

随着国家环保要求的日益提高,河道疏浚底泥的处置也应遵循精细化管理、规范处置的思想,科学编制方案,消除环境污染的风险隐患,尽可能地实现底泥的资源化利用。苏四期项目中疏浚底泥总量约170万 m^3 ,其底泥处置方案的研究确定以及疏浚工程对环境影响的研究,是工程投资规模确定的关键,也是避免工程二次污染环境的需要,涉及到项目的经济效益、环境效益和社会效益,必须慎之又慎。在工程可行性研究报告确定技术路线之前,必须进行充分的专题研究,为工程可行性研究报告提供技术支撑。

苏州河底泥成份和现场情况较为复杂,沿程分布存在差异,如不同的底泥污染程度、杂物的含量将直接影响底泥处置及疏浚工艺,通过中试,预先确定适用于苏四期底泥的疏浚设备,把握底泥疏浚施工对苏州河水质的影响,进而预先制定对策。底泥处置方案的环境影响控制、减量化处理和资源化利用是研究的重点,本次研究采用的生态土管袋工艺是上海市首次应用在底泥处置中,在实际运用之前,通过专题研究并在中试工作中进行先期实验,验证其可靠性、有效性和经济性,来降低决策风险(见图1)。

由建设单位上海市堤防泵闸建设运行中心牵头组织安排本次底泥研究工作,组建了《苏州河(真北路~蕰藻浜)堤防达标改造及底泥疏浚工程底泥疏



图1 苏四期底泥中试堆场建设

浚与处置专题研究》课题组,课题组由河海大学设计研究院有限公司负责设计,会同上海市环境科学研究院负责环境影响监测、中交上海航道局负责疏浚施工及水上施组设计、上海建工负责陆域场地建设、上海交大专家组提供生态土管袋工艺技术指导。

2 疏浚工艺方案

苏四期底泥疏浚属于典型的城市内河底泥环保疏浚。本项目针对中试和后续工程底泥疏浚方案,应主要考虑苏州河底泥特点、外部限制条件(包括水域条件、通航标准、船流密度、水流动力)并对标欧美发达国家的技术和设备,选择合适的疏浚船机设备,制定技术可行、合理、安全的施工方案,做到安全施工、文明施工、环保达标。

收稿日期: 2023-04-12

基金项目: 上海市数字盾构工程技术创新中心项目(21DZ2220700)

作者简介: 汤秀翔(1989—),男,硕士,工程师,从事水利工程设计工作。

在疏浚工程中常用的挖泥设备为耙吸挖泥船、绞吸挖泥船、抓斗挖泥船和铲斗挖泥船。耙吸挖泥船的规格尺寸较大，且耙头只适合耙吸不含硬质杂物的浮泥，一般运用于海港及沿海地区；绞吸挖泥船对绞刀的保护程度较高，也不适合在含有石块等建筑垃圾的水域施工；抓斗挖泥船功率较低，且无法满足对于泥层厚度分层施工的要求，因此本次中间试验疏浚仅采用反铲挖泥船。挖泥船综合性能比较见表 1。

表 1 挖泥船综合性能比较			
项目	环保绞吸挖泥船	抓斗式挖泥船	机械式反铲挖泥船
挖泥精度	高	较低	较高
防二次污染	高	较低	较高
泥浆浓度	低	高	高
疏浚效率	一般	低	高
输送性能	好	较灵活	较灵活
土质适应性	较强	强	强
杂质适应性	一般	非常好	非常好
施工简易性	强	较强	强
转场灵活性	较强	强	强

通过设备选型研究分析，同时借鉴了苏三期中试实验结论，本次中试试验为加快实验效率，降低实验成本，保证试验连续不间断进行，中试采用反铲挖泥船疏浚施工，满底驳运输至试验场地附近，泥浆泵

加高压冲水上岸冲袋工艺。

本次中试疏浚方量按计划为水下方 4 000 m³，每个点 1 000 m³，分别对应一个充填管袋，实际的疏浚方量和计划疏浚方量有偏差，按照浚前浚后水深测量的图纸计算，实际的水下方大致在 3 000 m³ 左右，船方和水下方的比值为 1.15~1.25。

按船方统计，本次中试试验疏浚船方合计为 3 480 m³ (其中含垃圾方量为 220 m³)，垃圾含量经实际统计，临近岸边的疏浚底泥垃圾含量在 10%~15% 左右，基本以建筑垃圾、砖头、石块等硬性垃圾为主；河道中部的垃圾含量在 3%~5%，基本以塑料、纤维、布条、树枝等杂物为主。从实际的统计工效来看，底泥疏浚每小时的船方最大挖方量 155 m³，最小挖方量为 80 m³，在完全不受干扰的情况下挖泥效率平均水平在 100~130 m³/h 船方，折合水下方大致为 80~100 m³。

3 底泥处置工艺

除去泥库吹填排水并晾晒以外，人工主动加速底泥脱水处置技术主要分为两大类，一类是物理脱水，利用机械力将泥浆里的颗粒表面毛细水和重力水分离开来；另一类是化学脱水，通过添加固结剂或絮凝脱水剂并配合设备加速土体排水。几种淤泥脱水工艺的对比情况见表 2 所示。

表 2 底泥脱水工艺对比表						
比较项目	机械脱水固结一体化	自然脱水干燥	真空预压法	土工管袋法	传统机械脱水法	直接搅拌固结法
技术原理	通过高压压榨设备进行脱水处理，含水率降至 35%~40%	在自然条件下进行晾晒风干处理	通过铺设管道，真空预压的方式对淤泥进行负压脱水	淤泥通过管道输送至土工管袋中，通过药剂加速排水	机械压力挤压使淤泥脱水	直接加入添加剂进行“增量处理”，搅拌固结后脱水
泥饼性质	硬塑状泥饼，强度大	高含水淤泥，流动状态，无法后续利用	淤泥流动态及半固状态需长期堆放或摊晒。	淤泥固态，较为松散	高含水淤泥，呈流塑状，基本无强度，	流动态或半固态，强度低增长慢，需长时间养护
工期	短	很长	较长	短	短	较长
优势	泥饼含水率低(低于 40%)，无二次污染产生，占地面积小	工程投资低，处理量大	工程投资低，处理量大	实施工期短，运行成本低，管理方便	泥饼含水率较低，无二次污染产生	工程实施简单，管理方便
不足	设备投资较高	泥饼含水率高，干燥周期长，占地面积大，受天气影响大，存在臭气和淤泥污染。	脱水缓慢，泥饼含水率高(含水率 70%)，占地面积大，施工周期长，施工难度大	泥饼含水率高(含水率 60%~70%)，占地面积大	泥饼含水率较高(含水率 50%~60%)，实施工期长，配套设备多，操作复杂	泥饼含水率高(含水率 70%~80%)，施工场地大，二次污染严重，现场环境差，受天气条件影响大
综合评价	技术成熟稳定，场地占用少，泥饼便于后续资源化。	直接处理成本最低，但场地占用大、环境影响恶劣，后续成本高。	施工工艺简单，需要铺设管路，直接处理成本较低，但场地占用大、环境影响较大。	直接处理成本较低，但场地占用大、泥饼含水率高，资源化利用差。	直接处理成本高、环境影响大，存在污染转移的环境风险，综合成本高。	技术成熟稳定，泥饼增量，处理效果差，场地占用大、材料添加量较大

综合上述初步比选,本工程脱水处理工艺可采用土工管袋法和机械脱水法。

本工程根据工程底泥疏浚的实际工程情况编制了土工管袋的脱水方案和机械干燥脱水方案,比选方案汇总如表3。

表3 底泥脱水方案比选确定

比选项目	底泥脱水方案	
	土工管袋脱水方案	机械脱水方案
工程占地方面	本工程占地 46 340 m ²	工程占地 6 400 m ²
工程费用方面	处理单价:112 元 /m ³ (不含后续土方外运和临时借地费)	处理单价:115 元 /m ³ (不含后续土方外运和临时借地费)
工程周期方面	满足,每隔一个月土方进行外运	满足,每天土方需进行外运
工艺及维护要求	耗电量相对较小,维护成本极低	耗电量较大,设备需经常维护
方案处理弹性方面	土方消纳周期为一个月,富余的时间较为宽裕,同时土工管袋占地较大,也为土方周转预留空间	机械脱水效率固然高,但是设备故障的风险明显高于土工管袋,备用设备增加会导致费用额增加,且土方需及时处理,如考虑临时土方堆筑的问题,则实际占地会骤增

根据上述比选,土工管袋处理的占地虽然较大,但沿线具备土工管袋施工的场地,土工管袋的处理费用、维护成本和工艺要求均较低,故本工程采用本土工管袋的脱水方案,垃圾分离侧采用垃圾分拣机生态土管袋脱水技术,采用符合饮用水纯化技术规范的高分子絮凝剂,实现对污泥中悬浮的有机和无机颗粒物的捕捉,通过膜袋包裹体脱水容器的过滤功能,将这些颗粒物截留在容器,最终积存在泥土中自然降解与转化。由于膜袋包裹体容器脱水技术只使用微量符合水处理全规范的助凝剂,并实现了对悬浮物最大可能的捕捉。

通过复合脱水助剂(絮凝剂与重金属捕捉剂)的协同作用,促成底泥中重金属的固定和稳定,并实现对污泥中悬浮的有机和无机颗粒物的捕捉,通过膜袋包裹体脱水容器的过滤功能将这些颗粒物截留在容器中,最终积存在泥土中自然降解与转化。

重金属捕捉剂是一种与重金属离子强力螯合的化工药剂或无机质,因在常温和很宽的 PH 值条件范围内,能与污泥中的 Cu²⁺、Cd²⁺、Hg²⁺、Pb²⁺、Zn²⁺、Cr³⁺、Mn²⁺、Ni²⁺ 等各种重金属离子进行化学反应,并在短时间内迅速生成不溶性、低含水量、容易过滤去除的絮状沉淀,从而达到去除重金属离子活性的目的。

本次中试采用的复合脱水助剂兼具快速泥水分

离功能与重金属固定和稳定功能,复合脱水助剂在通过管路输送到泥浆泵送管道中后得以扩散,并在管路反应器中充分混合,促成底泥中重金属向稳定形态转化,从而降低重金属的活性,达成底泥中重金属的固定和稳定。

试验中用 300 mL 水稀释 100 g 原泥,得到含水率约 92%的泥浆,经用多种高分子复合脱水助剂滴定,得到脱水速率最大、絮团强度最高的脱水助剂添加比例与助剂种类,该脱水助剂型号为 CZ492AP+SP,添加比例为 200PPM(千分之二浓度),折合每方底泥用量约为 400 g,但考虑到实验所取泥样含水率以及泥份不具典型性,且絮团碰撞强度不同,实际工程中脱水助剂的使用量会有下降。

通过枕包实验理论数据与现场生态土管袋减容率对比可得,理论减容率可达到 20%以上,而现场各管袋减容率在 15%左右,经检测对应含水率约为 30%,部分固结时间较短的管袋也达到了 14%左右的减容率,随着时间的延长减容率仍会进一步增加,考虑到具体施工中仍采用大型生态土管袋工艺,枕包数据过于理想化仅供参考,中试确定生态土管袋工艺减容率约为 15%。

4 课题研究过程

(1)苏州河底泥特性

苏州河底泥深度在 0 ~ 0.3 m 之间的淤积量为 26 万 m³,约占总底泥量的 61%;在大于 1m 的淤积量为 17 万 m³,占总量的 39%,总计淤泥层总量约 43 万 m³。根据各点位不同深度泥层中重金属的检测结果,求取该点位重金属的平均含量,并对各点位重金属均值进行统计分析。从图中曲线可以看出,各点位底泥中的 8 种重金属的平均含量从上游到下游都呈现不断升高的趋势。对照土壤环境质量标准,13 个点位中总铜含量一级土壤标准的超标率达到 84.62%,pH 值小于 6.5 的二级土壤标准的超标率达到 46.15%;总汞含量一级土壤标准的超标率达到 23.08%,pH 值小于 6.5 的二级土壤标准的超标率为 7.69%;总锌含量一级土壤标准的超标率达到 92.31%,二级土壤标准的超标率达到 0%;总镍含量一级土壤标准的超标率达到 15.38%,pH 值小于 6.5 的二级土壤标准的超标率为 15.38%,pH 值大于 6.5 的二级土壤标准的超标率为 0%;总镉含量一级土壤标准的超标率达到 7.69%,二级土壤标准的超标率达到 0%;总铬、总砷和总铅的污染最轻,一级土壤标

准的超标率为0。在拟疏浚河段各点位底泥中,有机质的平均含量在5.04~15.09 g/kg之间,氨氮的平均含量在29.0~191.0 mg/kg之间,全氮的平均含量在0.39~1.00 g/kg之间,总磷的平均含量在0.696~0.955 g/kg之间。对照美国五大湖底泥环境质量分级标准,13个点位中,69.23%的氨氮达到了中度污染,7.69%的氨氮达到了重度污染,100%的总磷达到了重度污染。在拟疏浚河段各点位底泥中,总石油烃的平均含量在60.5~219.5 mg/kg之间,矿物油的平均含量在14.0~67.1 mg/kg之间,苯并(a)芘的平均含量在0.008~0.044 g/kg之间,滴滴涕的平均含量在0.000 05~0.000 44 mg/kg之间。对照土壤环境质量标准,所有点位底泥均能满足一级土壤和农用的标准。

(2) 试验选址

为较为全面的反映苏四期河段各区域不同底泥采用生态土管袋工艺处置后的效果,本次试验于工程上中下游各布置一处取土点,同时出于保护现状防汛墙结构安全考虑,均设置于河底区域,并于2017年苏州河堤防达标专项岸段布置边坡取土点一处,每处取土点取土方量充填生态土管袋一只,由于单只生态土管袋可容纳处置后土方1 000 m³,因此各取土点疏浚作业量确定为1 000 m³,总计4 000 m³。

(3) 堆场设计

中试排泥场总长92 m,总宽80 m,占地约8 000 m²。

a. 排泥场设计

根据工艺试验需求,生态土管场地堆放4个只管袋,管袋物理尺寸为物理参数:长度61.4 m,宽度8.4 m,理论纳泥容积为1 000 m³,加排水区域布置,堆场底部平面尺寸为72 m×40 m=2 880 m²场地。为避免排泥场堆土过高影响现状防汛墙结构安全,同时排泥场建设可做到土方平衡,现状场地平均高程约4.80 m,设计排泥场底高程下挖至4.0 m,围堰顶高程6.0 m,边坡比为1:2.5,排泥场堆土设计泥面高程5.0 m。场地沿宽度方向设1%的边坡,沿周边设置一圈排水沟,宽1 m,高1 m(见图2、图3)。

b. 尾水沉淀处理池

生态土管脱水工艺初期排水较快,后期速度降低,根据常规经验,在考虑尾水循环利用的情况下,以200 m³/h泥浆泵计,尾水池容积不小于300 m³。尾水池与排泥场公用一侧围堰,宽10 m,底高程3.0 m,设计水位4.0 m(深1.0 m),设计容积700 m³。尾水水质检测合格后采用泵排入苏州河。

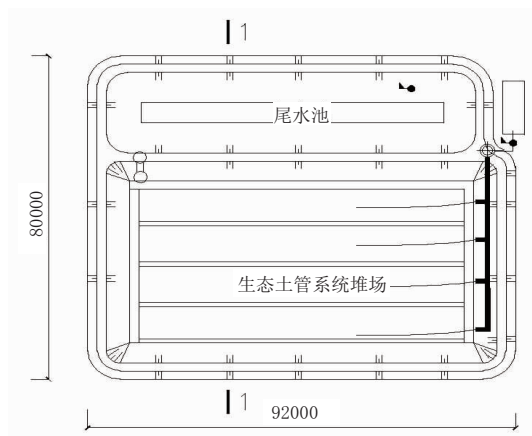
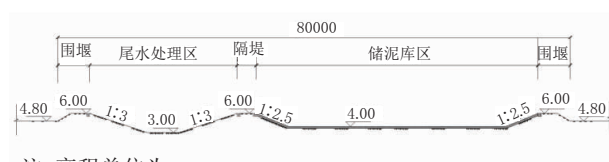


图2 堆场平面布置图(单位:mm)



注:高程单位为m。

图3 堆场断面结构图(单位:mm)

c. 基底防渗处理

为防止对地下水和地表水的污染,防止地下水进入填埋区,拟对填埋场设置人工复合防渗系统进行防渗处理。

(4) 试验过程

中试工作原计划工期3个月,在建设单位的支持和各课题组成员单位的努力下,2018年9月18日签订了中试堆场借地协议,并开始了堆场土建施工,于10月1场地建设基本完成;2018年10月21日,海事正式批准疏浚船只进场开始疏浚作业,同步开展了药剂实验及1#袋生态土管袋充填工作,至11月27号中断;由于进博会管理要求,10月28号—11月13号期间施工作业停止;11月14号—11月21号,1#袋充填完毕进入固结期,开展数据记录工作;11月22号—12月1号,4#袋充填完毕进入固结期,开展数据记录工作;12月2号—12月13号,3#袋充填完毕进入固结期,开展数据记录工作;12月14号—12月25号,2#袋充填完毕进入固结期,开展数据记录工作;12月25号—至今,开展尾水检测、固结后开袋土质检测工作,绘制土体固结曲线(见图4至图11)。

5 项目特色

本次底泥课题研究使用了上海市在底泥处置中首次采用的生态土管袋工艺,生态土管袋管带渗透性 $Q50 \geq 25.0 \text{ lm}^2/\text{s}$,结合复合脱水助剂由微生物酶引发聚合反应,COD去除率大于90%、主族重金属

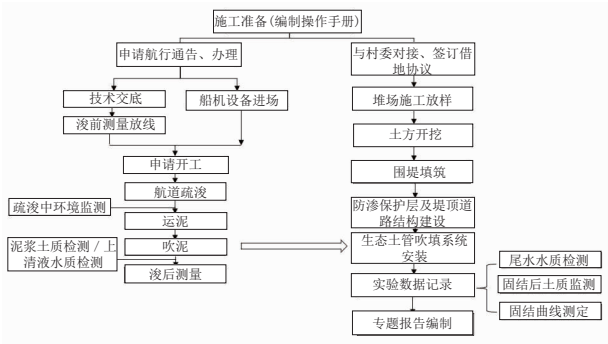


图 4 试验流程图



图 5 堆场建设完成(2018.10)



图 6 抓斗式挖泥船正在区作业(2018.11)



图 7 生态土管袋充填并沥出水(2018.11)



图 8 仓内吹填完毕后残余垃圾情况(2018.11)



图 9 东方卫视进现场采访底泥中试情况(2018.12)



图 10 管袋充填完毕进入固结期(2019.01)



图 11 破袋取土样(2019.01)

去除率大于 85%。复合脱水助剂经制备后通过管路输送到泥浆主管道中进行扩散和混合，并在管路反应器中与泥浆反应,降低重金属的活性,达成底泥中重金属的固定和稳定,减轻土壤浸出毒性(见图12)。



图 12 生态土管袋处置过程

6 工艺创新

苏四期底泥课题研究使用的生态土管袋具有“蜂窝状”立体过滤结构,采用特殊聚丙烯单丝、扁丝或裂膜丝进行土工管袋布加工,在缝合处使用先进的

六针缝纫技术缝纫,管带渗透性达到 $Q50 \geq 25.0 \text{ lm}^2/\text{s}$,生态土管带工艺减容率约 15%,处置后固化土经过环科院指标检测达到 II 级标准,可用于附近嘉定生态廊道建设用土。结合苏州河底泥特性,底泥课题研究对脱水助剂各化学成分配比进行试验后改进,将二甲基二硫代氨基甲酸盐中的氮硫官能团聚合到丙烯酰胺中形成嵌段型多功能改性聚丙烯酰胺,制成苏四期底泥最佳药剂配比的复合脱水助剂(见图 13)。



图 13 脱水助剂选型实验

参考文献:

- [1] 江璇,程金平,唐庆丽,等.上海市疏浚泥资源化可利用性分析[J].环境科学与技术,2013,36(6L):86-89.
- [2] 刘玲,刘述杰,张晓琳.济南市小清河主城区段河道清淤方案分析[J].水利技术监督,2017,25(4):105-107,124.
- [3] 叶飞.河道环保清淤工程施工技术分析[J].工程技术研究,2019,4(24):100-101.
- [4] 牛文泽,刘玉佳,李茹莹.河道底泥中异养硝化-好氧反硝化菌群富集培养及其脱氮性能[J].环境科学学报,2019,39(9):2911-2918.
- [5] 李正最,周北达,李广源,等.洞庭湖河湖疏浚综合效益研究[J].水利规划与设计,2003(4):15-23,34.
- [6] 柳明江.南河沿河道清淤疏浚与清障工程浅析[J].地下水,2020(3):231-232.
- [7] 潘南江,戴如飞,韩琼玥.湖泊生态治理与管理探索[J].水利技术监督,2013,21(1):26-28.
- [8] 赵志均.河道清淤疏浚施工技术的控制措施研究[J].低碳世界,2019(5):75-76.
- [9] 夏双喜,党智斌.河道疏浚施工工艺浅析[J].中国水运,2013(4):152-153.
- [10] 王丽凡.苏北运河航道维护性疏浚技术探析与管理[J].中国水运,2019,19(10):147-148.
- [11] 宋端想,卜光辉.航道疏浚对水体水质影响的模拟研究[J].中国水运,2016,16(8):87-88.
- [12] 唐承源.反铲挖泥船在硬质岩礁疏浚中的应用[J].珠江水运,2016(19):12-13.
- [13] 刘欢,孔维苇,王晓锋,等.重庆梁滩河表层沉积物氮形态时空特征及影响因素[J].水土保持学报,2019,33(6):332-341.
- [14] 石正宝.苏州河底泥疏浚和防汛墙加固改造技术创新[J].水利规划与设计,2019(3):90-94.
- [15] 尹平,宫晓波.疏浚泥综合利用现状[J].能源研究与管理,2011(4):17-20.
- [16] 李娟.航道疏浚工程环境影响评价技术评估研究[J].环境科学与管理,2015,40(5):192-194.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话: 021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com