

多种疏浚淤泥脱水技术的典型应用及分析

高 扬¹, 孙 科¹, 谭一军², 王晓英³

(1. 江苏东方生态清淤工程有限公司, 江苏 无锡 214125; 2. 中国船舶重工集团第七〇二研究所, 江苏 无锡 214082;
3. 无锡市滨湖区水利局, 江苏 无锡 214123)

摘要:随着生态清淤工程的大规模开展,污染底泥的空间转移对环境容量产生了新的胁迫压力,淤泥处置上需根据项目条件及技术特点遴选有针对性的泥浆减量化技术。通过对多种淤泥干化技术原理的简述及在各地生态清淤工程中的典型应用进行介绍、比较和分析,总结各类干化技术的优缺点、适用性及在工程设计上需要考虑的实际问题,以期为污染底泥干化及安全处置方案的设计提供思路和参考。

关键词:疏浚泥浆; 泥浆脱水; 淤泥干化; 环保疏浚

中图分类号:TV851;TU992.3 文献标识码:B 文章编号:1007-7839(2020)09-0051-04

Typical application and analysis of various dredged silt dehydration technology

GAO Yang¹, SUN Ke¹, TAN Yijun², WANG Xiaoying³

(1. Jiangsu Dongfang Ecological Dredging Engineering Co., Ltd., Wuxi 214125, China;
2. China Ship Scientific Research Center, Wuxi 214082, China;
3. Wuxi Binhu District Water Resources Bureau, Wuxi 214123, China)

Abstract: With the large-scale development of ecological dredging project, the spatial transfer of polluted sediment has brought new stress on environmental capacity, and the mud reduction technology should be selected according to the project conditions and technical characteristics. Through the introduction, comparison and analysis of the principles of various silt desiccation technologies and their typical applications in ecological dredging projects in various regions, the advantages and disadvantages, applicability, and practical issues that need to be considered in engineering design of various desiccation technologies were summarized, with a view to provide ideas and references for the design of contaminated sediment desiccation and safe disposal schemes.

Key words: dredging mud; mud dehydration; silt desiccation; environmental dredging

生态清淤被认为是控制内源污染效果明显的工程技术措施之一^[1],近年来在各地的水环境综合治理工作中得到广泛应用。大量清淤工程的同时开展导致短时间内大量污染底泥由水下转移到岸上,堆场紧缺下对环境容量形成了新的胁迫作用。如何因地制宜地对如此量大的泥浆进行减量化处理成为了底泥处置的关键问题之一。

疏浚泥浆的脱水技术种类繁多,大部分是由传统技术进化而来,但由于疏浚输泥处置工程实施的场地条件、治理要求、工期各不相同,同一种脱水技术很难优于其他同类技术同时适用于所有疏浚泥浆的干化处理,需针对脱水技术特点和项目实施条件因地制宜的设计处置方案。

本文通过多种淤泥干化技术在清淤工程中的

收稿日期:2020-06-06

作者简介:高扬(1985—),男,工程师,本科,主要从事水体内源污染治理的设计研究与应用工作。E-mail:wizard_1030@163.com

典型应用,分析和总结各技术的优缺点及适用性,以期为疏浚泥浆干化处置方案的设计提供思路 and 参考。

1 多种淤泥脱水技术的典型应用及分析

1.1 浅层真空预压脱水技术

真空预压作为一种土体加固的方式,被广泛应用于各种软弱地基土的加固之中^[2]。随着该项技术的不断发展和延伸,无需设置砂垫层的新型浅层真空预压技术^[3]也应运而生,其原理是利用密封膜使加固区域内形成密闭空间,使用真空泵通过预先设置在密封膜内的竖向排水板和水平滤管进行抽真空作业,形成负压场并不断向外排水,使土体强度得到提升。该项技术已在长荡湖生态清淤四期工程的吹填淤泥加固现场得到成功应用。

长荡湖生态清淤四期工程是《太湖流域长荡湖(金坛)生态清淤总体实施方案》中的一个重要内容,清淤量 155.7 万 m^3 ,排泥场位于中干河以西,普门寺以南,新建环湖大堤东侧的鱼塘内,占地约 65 万 m^2 ,后续采用浅层真空预压技术对其进行场地固结,真空预压施工工期为 150 d。实施过程中首先完成排泥场的退水工作,随后由人工借助浮台在泥面上铺设供人员着力的编织布,完成后按排水板间距 0.8 m、插设深度 3 ~ 4.5 m、水平滤管间距 1.6 m、主管间距 30 m 的布置要求进行真空管道的布设和连接,并在其上敷设 1 层 200 g/m^2 的土工布和 2 层 0.14 mm 厚的 HDPE 密封膜,均压入密封沟中完成闭气使整个预压场区得到密封。上述工作完成后,开始连续真空抽滤工作。真空加载分两阶段进行,首先进行逐级加载抽出大量膜下渗水,其次当真空度稳定进入 80 kPa 后进入恒载阶段,提高土体固结强度。最终以连续 5 d 平均沉降速率不大于 2 mm/d 和土体固结度不小于 85% 为停泵标准,当两者同时满足后停泵卸载。真空卸载后对土体进行浅层平板载荷试验,结果显示土体承载力特征值大于 50 kPa,满足设计要求。

由于疏浚淤泥具有强度低、水分不宜排出等不良特性,虽然真空预压施工后土体承载力特征值大于 50 kPa,但用于建筑地块仍有较大差距,土体继续改良加固时间则过长,成本也较高,故限制了其应用,而将其改造成湿地基质是可行的方案之一。本工程设计结合《太湖流域长荡湖退圩还湖专项规划》,圈圩养殖的废弃鱼塘恰可用于疏浚泥浆的吹

填处理,吹填区再经真空预压加固后改造成滨水湿地生境,既节省了淤泥处置的工程成本,又使淤泥得到原位利用,完备了就地造景的基础,协调了水岸空间布局,一举多得,是较好的应用案例。故该项技术适用于清淤量大、工期较短、临湖周边有大面积堆场且具备后续开发利用条件的生态清淤处置工程。

1.2 织物过滤技术

织物过滤也称为土工管袋过滤,最先应用于护岸围堤的加固处理,近年来被广泛应用于疏浚泥浆的干化处理^[4]。其原理是利用织物编织过程中所形成的等效孔径所具有的过滤功能和织物内外存在的压力差,通过药剂对泥浆的改性调理促成固液分离,使固相存留于织物内部,液相排出,从而使淤泥得到脱水固结。该项技术已在无锡市太湖(竺山湖)生态清淤工程四标段中得到成功应用。

无锡市太湖(竺山湖)生态清淤工程四标段清淤方量为 28.85 万 m^3 ,主体工程施工工期仅 105 d,疏浚泥浆的岸上处理区位于宜兴和洩村,临近太湖西岸,占地约 6.5 万 m^2 。实施过程首先对场地进行处理,由下而上依次进行排水渠开挖、场地平整碾压、防渗层、保护层、过滤层、导渗层和土工管袋的铺设。其中防渗层采用厚 0.75 mm 厚非织造压花复合 HDPE 膜,保护层采用 200 g/m^2 的土工布,过滤层和导渗层总厚度为 300 mm,为粒径由小到大的级配砂石组成,土工管袋规格为 30 m \times 15 m,渗透性为 20 $\text{L}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ 。铺设完成后进行管路的连接和安装。正式充填按 2 条土工管袋为一组同时进行,泥浆中的大颗粒絮体在袋内被织物拦截并不断堆积,形成新的滤层实现对小颗粒絮体的截留。充填流量控制由小到大避免出现摆袋,涨袋的最大高度控制在 2.5 m,高度到达后关闭进料闸阀,消落后继续充填防止炸袋。第一层土工管袋充填完毕并消落稳定后,在相邻两袋的搭接缝上铺设第二层土工管袋继续施工。施工过程中水悬浮物不大于 150 mg/L ,施工结束 55 d 后破袋检测淤泥含固率不小于 55%,满足设计要求。

土工管袋用于疏浚泥浆的处理具有运输方便、节能低耗、可堆叠使用、施工速度快等显著特点,非常适用于一些量大的应急清淤处置工程。但由于其施工所需占地较大,充填结束 2 个月后才能对干化淤泥进行后续处置,且不能直接用作回填土加以利用限制了其应用范围。

1.3 机械脱水技术

机械脱水技术最先用于市政、工业污泥的减量化处理^[5],随着生态疏浚的概念被提出,环境友好型的机械脱水技术被运用至疏浚泥浆的脱水处理^[6-8],相比于其他淤泥脱水技术,设备集约化程度更高的机械脱水技术所需的占地更小、移动性更强是其显著特点。机械脱水技术按其脱水原理的不同在设备使用上又分为离心、带式 and 板框,尽管所用设备不同,但要实现脱水工艺的稳定高效,三者都必须对疏浚泥浆进行一定的前处理以改良其脱水性能、提高其脱水效率,同时均衡泥浆浓度以获得相对稳定的工况。

1.3.1 离心脱水

离心脱水技术主要依靠两相介质的比重差实现固液分离。该项技术已在太湖(梅梁湖)生态清淤2010—2011年工程中得到成功应用。

梅梁湖两期生态清淤工程合计清淤方量约88.11万 m^3 ,疏浚泥浆处理站位于红湾山坳,占地约4200 m^2 ,淤泥脱水处理时间合计约390d。实施过程中经处理后的泥浆被送入高速旋转的转鼓内,比重较大的水化淤泥在高速转动所形成的离心力驱使下被甩附在外侧形成岸区,并由螺旋推料器收集排出,而比重较小的分离液则在岸区内部形成液体层,最终被收集并排出脱水机,施工过程所获干泥含固率不小于50%,尾水悬浮物不大于150 mg/L ,满足设计要求。

离心脱水技术单位时间内具有的高脱水效率是其显著优点,但其受淤泥负荷的波动影响较大,特别是疏浚泥浆连续处理必定会存在一定范围内的浓度变化,施工过程需专人操作并实时调整运行参数,同时其能耗高、药剂使用量大、泥饼含固率相对偏低是其明显缺点。故该项技术适用于场地较小、工期较短、规模较大且对泥饼含固率要求不高的生态清淤处置工程。

1.3.2 带式压滤脱水

带式压滤脱水主要依靠作用在滤带表面的压力和滤带本身的张力,迫使上下滤带中间携裹的淤泥不断被压榨脱水实现固液分离。该项技术已在无锡市杨刘河、扬州市沙施河、新城河等多地的生态清淤工程中成功应用。

杨刘河是典型的江南城区小型水网河道,全长380m,平均河宽8.7m,淤积量4800 m^3 。其河宽狭窄、跨河桥梁众多且低矮、驳岸安全隐患、淤积严重、周边建设用地紧张均限制了常规清淤处置技

术,故选择集约化程度更高的机械脱水技术进行施工,淤泥脱水工期60d。淤泥处理站临时租用刘潭服装厂内废弃停车场,占地仅360 m^2 。实施过程中经处理后的泥浆被布料至带式压滤机的重力浓缩段,淤泥在重力浓缩段上被临空设置的多级错位耙梳理,从而进一步降低淤泥的流动性并实现均匀布料。完成初滤后的淤泥被送入楔形区预压和高压区压榨,整个过程中伴随着上、下滤带间距和相邻压辊曲率半径的逐渐减小,滤带对淤泥的挤压力和剪切力逐渐递增,淤泥水分得到最大限度的脱除,最终干泥由刮泥板刮除完成卸料,施工过程所获干泥含固率不小于55%,尾水悬浮物不大于150 mg/L ,满足设计要求。

带式压滤脱水技术运行管理相对简单、能耗较低、产泥稳定且含固率较高是其显著优点,同时由于其兼顾了能耗低和占地小的特点,使得脱水工艺在小型化上的集成度更高,工艺适应性更强。但带式压滤脱水技术实施过程中需要不断对滤带清洗以实现滤孔的再生,大量的反冲洗水间接形成了污水处理内循环的负担,处理率偏低、二次处理成本较高是其缺点。故该项技术适用于建设场地面积较小、工期较富裕的生态清淤处置工程。

1.3.3 板框压滤脱水

板框压滤脱水主要依靠滤室内滤层两侧的压力差使淤泥脱水。该项技术已在无锡梁溪河、南京玄武湖、苏州多条河道的生态清淤工程中成功应用。

梁溪河是东起京杭运河,西至太湖梅梁湾,是无锡城区水系的清水廊道,属于典型城区大中型河道,其中滨湖段全长4.98km,淤积量达27.185万 m^3 ,淤泥脱水工期180d。淤泥处理站位于原水产品市场,占地约1万 m^2 。实施过程中经处理后的泥浆被输送分配至由板框相互压紧形成的各个滤室内,在进料泵提供的压力下,淤泥中的大颗粒被滤布截获并逐渐堆积形成新的过滤层,实现淤泥颗粒的截留。待固相层厚度逐渐增厚并填满滤室之前停止进料并开始隔膜反压进一步脱除淤泥水分,最后松板卸泥结束一个脱水全周期的工作,施工过程所获干泥含固率不小于62%,尾水悬浮物不大于70 mg/L ,满足设计要求。

板框压滤脱水技术操作简单、运行稳定、所获泥饼含水率低、尾水悬浮物浓度低是其显著优点。但其设备体积较大、安装拆除耗时较长、土建费用较高、单台设备间歇运行导致其适用于场地面积适

中、工期较宽裕、体量较大的大中型生态清淤工程。

2 结 论

本文通过对多种淤泥脱水技术原理的阐述及在各地生态清淤工程中的典型应用分析,得到以下结论:

(1)浅层真空预压技术适用于清淤量大、工期较短、临湖周边有大面积堆场的生态清淤处置工程,工程设计上还应结合当地规划重点考虑加固后的地基是否具备后续开发利用的条件。

(2)织物过滤技术是一种施工速率非常快的淤泥脱水手段,非常适合一些清淤量大且处置周期短的应急生态清淤处置工程,工程设计上应重点考虑建设场地的占地规模及征用问题和后续干化淤泥的消纳处置问题。

(3)机械脱水技术适用于工期较为富裕的各型生态清淤工程,特别是场地受限的城区水系生态清淤处置工程,工程设计上应根据工程规模、场地限制和处置要求选择适当的机械脱水技术,并考虑好干化淤泥的消纳处置问题。

参考文献:

[1] 陈荷生. 太湖底泥的生态疏浚工程[J]. 水利水电科

技进展, 2004(6):34-37.

[2] 杨司盟, 温智力, 刘志明, 等. 絮凝联合真空预压处理吹填土的试验及机理[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(27):198-204.

[3] 唐忠林, 吴红明, 张洪玮, 等. 浅层真空预压法在太湖疏浚淤泥固化中的应用[J]. 土工基础, 2015, 29(3):77-80.

[4] 毕涛, 张景辉, 西伟力, 等. 土工管袋技术在湖库底泥脱水中的应用研究[J]. 环境保护科学, 2013, 39(6):44-47.

[5] 许春莲, 蒋进元, 靳顺龙, 等. 污泥机械脱水技术发展现状及前景[J]. 环境工程, 2016, 34(11):90-93.

[6] 倪守高, 高扬, 王俊泽, 等. 一种新型淤泥脱水装置在太湖生态清淤工程中的应用[J]. 水利水电技术, 2012, 43(7):28-31.

[7] 于洋, 孟本文, 彭建锋, 等. 东湖风景区湖底淤泥脱水固结一体化施工工艺[J]. 施工技术, 2014, 43(19):98-100.

[8] 高扬, 孙科, 顾晓慧, 等. 带式压滤机在城市河道清淤脱水工程中的应用优化[C]//中国环境科学学会(Chinese Society for Environmental Sciences). 2015 年中国环境科学学会学术年会论文集. 北京:中国环境科学学会, 2015:1710-1719.

(上接第 50 页)

直接承受水压力的作用,导致 1 号主横梁挠度变形大于前止水式。经过整体综合分析,后止水平面钢闸门抗变形能力更强。

参考文献:

[1] 韩彰, 苏怀智, 陈健, 等. 水工弧形空腔闸门动力特性数值分析[J]. 水利水运工程学报, 2018(2):26-34.

[2] 赵文军, 王业宇, 祁德丽, 等. 平面钢闸门漏水问题研究[J]. 江苏水利, 2019(5):68-72.

[3] 马斌, 郭乙良. 水工闸门振动研究现状及发展趋势[J]. 水利水运工程学报, 2019(2):55-64.

[4] 熊润娥, 严根华. 水工闸门止水结构动力特性与体型优化[J]. 振动测试与诊断, 2011, 31(6):798-802, 818.

[5] 周和平, 夏炎. 用于检修门强迫止水的弹压支承研究

[J]. 江苏水利, 2017(5):65-67.

[6] 熊威, 刘礼华. 高水头闸门止水元件的非线性仿真分析[J]. 武汉大学学报(工学版), 2011, 44(1):66-68.

[7] 邓翼峰, 诸晓华, 花加凤. 交通闸中横拉闸门的自降式底止水优化设计——以射阳港区挡潮交通闸为例[J]. 江苏水利, 2016(10):28-31.

[8] 钱军祥, 魏文炜, 邹柏青, 等. 构皮滩水电站泄洪中孔弧形闸门充压止水设计[J]. 人民长江, 2010, 41(22):41-43.

[9] 时爱祥, 李学荣, 龚荣山, 等. 底轴驱动回转启闭式钢闸门止水系统优化与改进研究[J]. 江苏水利, 2015(1):9-11.

[10] 薛小香, 吴一红, 李自冲, 等. 高水头平面闸门 P 型水封变形特性及止水性能研究[J]. 水力发电学报, 2012, 31(1):56-61, 92.