

# 襄阳护城河清淤底泥处理工艺改进及工程设计

邱震寰<sup>1,2</sup>, 黄文海<sup>1,2</sup>, 罗金学<sup>1,2</sup>, 石稳民<sup>1,2</sup>, 薛强<sup>1,2</sup>, 梁亚楠<sup>1,2</sup>,  
秦雄<sup>1,2</sup>, 姚雯<sup>1,2</sup>, 陈安明<sup>1,2</sup>

(1. 中建三局绿色产业投资有限公司, 湖北 武汉 430056; 2. 中建三局水务环保设计研究院,  
湖北 武汉 430014)

**摘要:** 针对清淤淤泥体量大、含水率高、絮凝沉淀困难等特点,襄阳护城河清淤底泥处理工程参照武汉东湖通道湖底淤泥处理工程设计运行经验,将含水率为95%的清淤泥浆经固结压滤脱水形成含水率 $\leq 35\%$ 的脱水泥饼。固结压滤脱水改进工艺对泥浆调节池及尾水回用系统进行了适用性改造,减小了占地面积,加快了泥水分离,提高了泥浆进料浓度。泥浆进料时间由每流程55 min降至每流程40 min,每台(套)设备可多处理 $186.6 \text{ m}^3/\text{d}$ 水下自然方底泥,每台机每流程可节省 $22.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 电能,实现了河湖清淤底泥的快速高效处理,可为类似项目提供借鉴。

**关键词:** 清淤底泥; 固结压滤脱水; 工艺改进

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)04-0095-06

## Dredging Sediment Treatment Process Improvement and Project Design of Xiangyang Moat

QIU Zhen-huan<sup>1,2</sup>, HUANG Wen-hai<sup>1,2</sup>, LUO Jin-xue<sup>1,2</sup>, SHI Wen-min<sup>1,2</sup>,  
XUE Qiang<sup>1,2</sup>, LIANG Ya-nan<sup>1,2</sup>, QIN Xiong<sup>1,2</sup>, YAO Wen<sup>1,2</sup>, CHEN An-ming<sup>1,2</sup>

(1. China Construction Third Engineering Bureau Green Industry Investment Co. Ltd., Wuhan 430056, China; 2. China Construction Third Bureau Water & Environment Design and Research Institute, Wuhan 430014, China)

**Abstract:** Aiming at the characteristics of large volume, high water content and difficulty in flocculation and sedimentation of dredging sediment, the treatment project of Xiangyang moat was constructed referring to the design and operation experience of Wuhan Donghu Lake channel project. The water content was reduced from 95% in the original dredging sludge to no more than 35% in the sludge cake. The modified consolidation pressure filtration dewatering process has enhanced the applicability of mud regulating tank and tail water reuse system, which reduced the occupied floor area, accelerated the separation of mud and water and increased the mud feed concentration. Specifically, the mud feeding time was reduced from 55 min per flow to 40 min per flow, each set of equipment could treat additional  $186.6 \text{ m}^3$  underwater natural bottom mud per day and save  $22.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$  energy per cycle. The upgraded process realized the rapid and efficient treatment of river and lake dredging sediment, which could provide reference for similar projects.

**Key words:** dredging sediment; consolidation pressure filtration dewatering; process

improvement

河湖底泥是经过长时间理化、生化反应沉积在河湖底部的泥、黏土、沙砾、垃圾、腐殖质等与水的混合物,也是河湖底部原状土与水体的界面交换带。底泥是河湖水体污染物迁移转化的载体,其挟裹的有机质、氮、磷、重金属等营养物或污染物的重新释放以及底泥自身对溶解氧的消耗都会导致水生态环境的恶化。即使水体的外源负荷得到控制,底泥内源污染仍会对水体水质恶化造成长时间的威胁<sup>[1]</sup>。

环保清淤疏浚是削减或消除河湖底泥污染的重要手段,清淤疏浚产生的大量底泥的无害化、减量化与资源化处理是环保清淤工程顺利实施的前提。固结压滤脱水是近年来应用比较广泛的清淤底泥处理技术。武汉东湖通道湖底淤泥处理工程<sup>[2]</sup>、泉州山美水库库区底泥环保疏浚工程<sup>[3]</sup>、黄石市青山湖环保清淤工程<sup>[4]</sup>等都采用了基于固结压滤脱水的工艺来对环保清淤底泥进行处理,其工艺多数侧重于对底泥脱水泥饼质量的要求,忽视了对泥浆浓缩环节的设计,也忽视了压滤尾水的回用,造成进入板框压滤机的泥浆浓度偏低,降低了处理效率,增加了设备电能消耗。

因此,在固结压滤脱水工艺中对泥浆进行浓缩,对尾水进行回用,是进一步提升本工艺生产力、降低运营成本的重要手段。襄阳护城河清淤底泥处理工程在现有固结压滤脱水工艺的技术上,对泥浆调节池设计和压滤尾水回流系统进行了工艺优化。

## 1 固结压滤脱水工艺

### 1.1 清淤底泥的性质

河湖底泥属于有机质含砂低液限黏土,粒径一般较小,粒径组成如表1所示。

表1 清淤底泥粒径组成

Tab.1 Grain size of dredging sediment

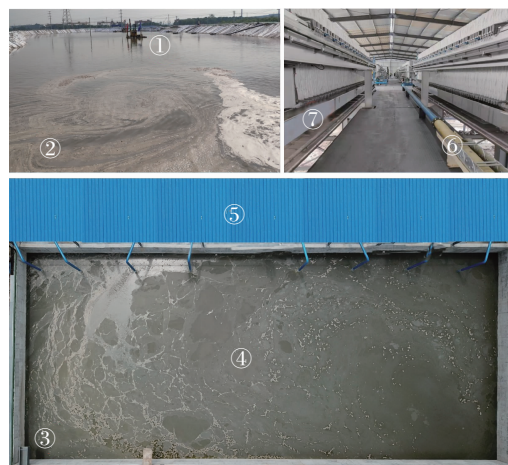
粒径/ mm	含量/ %	粒径/ mm	含量/ %	粒径/ mm	含量/ %
<1	100	<0.075	97.9	<0.008	50.5
<0.5	100	<0.055	97.3	<0.006	33.9
<0.25	100	<0.026	80.7	<0.005	30.8
<0.1	100	<0.011	61.1	<0.002	12.3

河湖底泥水下自然状态下含固率一般为20%~35%,在环保清淤作业过程中,会引入水使清淤底泥形成泥浆,其含水率一般为90%~95%,有机质含量较低,一般为5%~8%,pH值为6.8~

7.4。河湖底泥中氮、磷等营养物质含量及重金属、挥发酚等污染物质和地域关联较大<sup>[5]</sup>。

### 1.2 东湖通道固结压滤脱水工艺流程

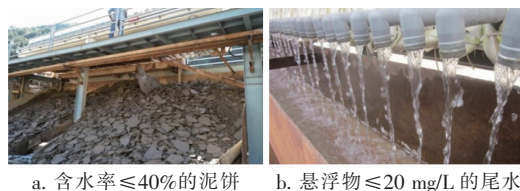
东湖通道湖底淤泥处理工程照片见图1、2。



①小型绞吸船 ②泥浆调节池 ③泥浆入流槽 ④均化池  
⑤压滤机入料泵房 ⑥板框压滤机台 ⑦尾水收集槽

图1 淤泥固结压滤脱水处理工艺

Fig.1 Dewatering consolidation treatment process of sediment



a. 含水率≤40%的泥饼 b. 悬浮物≤20 mg/L的尾水

图2 淤泥固结压滤脱水泥饼与尾水

Fig.2 Filter cake and effluent of dewatering consolidation treatment process

东湖通道湖底淤泥处理工程规模为7 200 m<sup>3</sup>/d,采用环保绞吸+沉淀池+泥浆调节池+材料车间+均化池+板框压滤脱水,将东湖湖底表层淤泥绞吸清淤后含水率95%的泥浆经过分级分离、沉淀调节、材料添加、调质均化、压滤脱水、泥饼输送等各个环节,最终形成含水率≤40%的脱水泥饼和悬浮物≤20 mg/L的尾水。

由于沉淀调节环节考虑欠缺,泥浆调节池采用土工围堰形式,占地面积大,池底平缓,局部水流不畅,泥浆浓缩效果较差,泥浆调节池底泥浆浓度为8%~10%。低浓度的泥浆经调质均化后进入板框压滤机内,延长了进料时间,造成了设备运行时间的

增加,既消耗了电能又降低了效率。压滤尾水回流均化池对最终进入板框压滤机的泥浆浓度影响较小,尾水内剩余的泥砂聚沉材料没有被充分利用,是一种资源浪费。

2 襄阳护城河清淤底泥处理改进工艺

2.1 工程概况

襄阳护城河位于襄阳市襄城区,最宽处达 225 m,是亚洲最宽护城河。襄阳护城河清淤底泥处理工程主要对河底淤泥进行疏浚及处理处置。清淤范围为襄阳公园至南门桥、民主路桥至夫人桥,合计长度为 3 606 m,清淤面积为 547 864 m<sup>2</sup>,淤泥厚度为 0.33~0.95 m,平均淤泥厚度为 0.627 m,总清淤方量约为 35.4×10<sup>4</sup> m<sup>3</sup>。考虑施工及地形条件,将施工区域划分为 A1、A2、A3、B1、B2 五个区(见图 3),各区清淤工程量见表 2。



图 3 襄阳护城河清淤区域布局

Fig. 3 Layout plan of dredging area of Xiangyang moat

表 2 清淤工程量

Tab. 2 Dredging amount of Xiangyang moat m<sup>3</sup>

区域	数量	清淤方式
A1	33 569	环保绞吸
A2	40 613	环保绞吸
A3	42 692	环保绞吸
B1	188 955	环保绞吸
B2	48 994	环保绞吸
合计	354 823	环保绞吸

襄阳护城河清淤底泥处理工程设计规模为 6 000 m<sup>3</sup>/d 水下自然方,生产期为 70 个日历日,配置 3 台环保绞吸式清淤船、8 台(套)隔膜式板框压滤机组,淤泥处置中心靠近护城河边,占地面积约

16 200 m<sup>2</sup>。

2.2 改进工艺及设计

在东湖通道湖底淤泥处理工程工艺的基础上,着重针对泥浆浓缩效果进行了相关设计改进,调整了泥浆调节池的结构及形式,增加了有效水力停留时间,增强了泥浆汇集与浓缩能力;对尾水回用系统进行了适用性改造,将尾水回流至泥浆调节池进浆口,充分利用其剩余有效组分,加快泥浆的絮凝沉淀;余水采用超磁分离的方式,减少占地,确保出水稳定达标,其工艺流程见图 4。

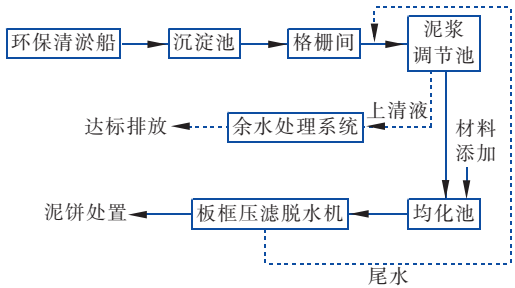


图 4 襄阳护城河清淤底泥处理工艺流程

Fig. 4 Flow chart of dredging sediment treatment project of Xiangyang moat

① 环保清淤系统

在 A1、A2、A3 区域和 B1 区域、B2 区域分别布置 800、2 000、1 500 m<sup>3</sup>/h 环保绞吸船各一台,泥浆泵额定功率分别为 300、680、468 kW,环保绞吸船平均日工作时间为 16 h,对表层浮泥采取“只吸不搅”、下层底泥采取搅吸并用的方式,最大限度地减小清淤过程造成的二次污染及淘淤损失。

② 进料及分级分离系统

清淤泥浆经密闭管道输送至淤泥处置中心(见图 3)场内,A 区输送管道设计长度约 2.0 km,中间架设接驳船一条,B2 区输送管道设计长度约 1.5 km,B1 区管道设计长度为 710 m,在文昌门巷采用架空管方式穿过道路进入淤泥处置中心,架空高度为 4.0 m,可供小型汽车通行。

沉淀池为平流式,设计尺寸(长×宽×高)为 22 m×7 m×2 m,其主要功能是沉淀去除粒径≥10 mm 的砂石、砖瓦等无机垃圾,冲洗水水源取自尾水系统出水,冲洗水流量为 20 m<sup>3</sup>/h,将黏附在无机垃圾上的有机组分冲洗下来,出渣满足《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889—2008)后送至垃圾填埋场填埋。



沉淀池末端设有回转式机械格栅两台,栅条间距为10 mm,主要拦截泥浆中的生活垃圾,栅前垃圾由皮带机输送至垃圾池暂存,生活垃圾委托环卫部门处置。

### ③ 泥浆调节池系统

泥浆调节池系统改进工艺见图5、6。

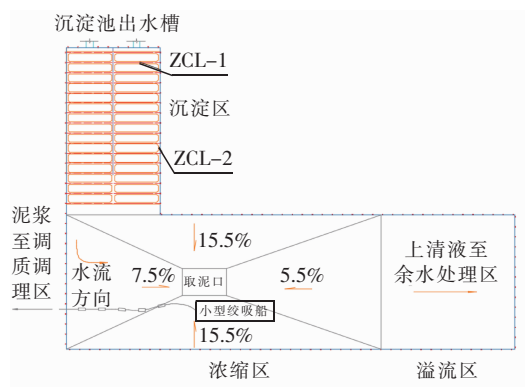


图5 泥浆调节池系统平面设计

Fig. 5 Plane design of mud regulating system

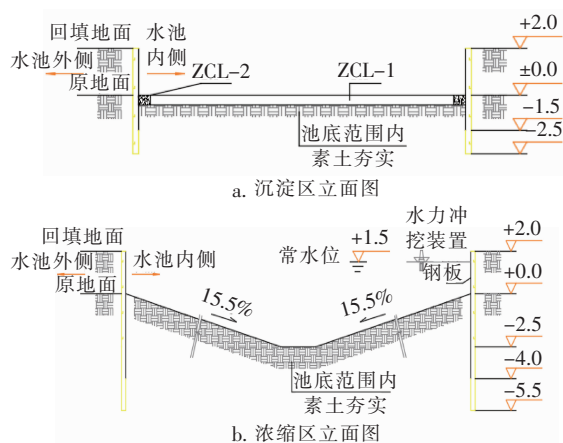


图6 泥浆调节池系统立面设计

Fig. 6 Elevation design of mud regulating system

根据地形及场地限制,将泥浆调节池系统分为沉淀区、浓缩区和溢流区,泥浆调节池占地面积为7 000 m<sup>2</sup>,泥浆平均停留时间为12 h,为节省占地面积,设计采用钢结构池壁。沉淀区分为两格,单池设计尺寸(长×宽×高)为50 m×14 m×2 m,主要功能是改变水流紊流态为层流态,促进泥浆颗粒之间碰撞形成絮体,泥浆在此区域内沉淀效果并不好;在沉淀区末端,泥浆上清液层(SS≤150 mg/L)厚度约为0.5 m,沉淀区池底泥浆浓度约为8%~10%。

浓缩区设计尺寸(长×宽)为94 m×40 m,池底设倒坡,根据池内小型绞吸船的尺寸,池底设计尺寸

(长×宽×高)为13.2 m×8.0 m×4.5 m的取泥口,浓缩区是泥浆颗粒的主要沉淀区域,泥浆经过长时间沉淀,在倒坡上沉积形成浓泥浆层并向取泥口滑移浓缩,取泥口内浓缩泥浆被小型绞吸船抽送至调质调理系统也会促进浓泥浆层不断向取泥口滑动汇集。浓缩区末端,泥浆上清液层(SS≤150 mg/L)厚度约为1.2 m,取泥口泥浆浓度约为15%~17%。浓缩区内设有水力冲挖装置,取水来自余水处理系统出水,设备功率为22 kW,取水量为80 m<sup>3</sup>/h。在停机检修时对池底沉积板结泥浆进行冲洗,增加其流动性。

溢流区设计尺寸(长×宽×高)为40 m×40 m×2 m,溢流区主要是进一步使细小的泥浆颗粒沉淀在池内,减小余水中污染物含量,减轻余水处理系统压力。

### ④ 泥浆调质调理系统

设置材料添加系统一套,主要包括80 m<sup>3</sup>储料罐4台、泥浆搅拌机2台、制浆系统2套。利用加药泵将配制好的药剂输送到泥浆搅拌机,泥浆搅拌机处理流量为300 m<sup>3</sup>/h,混合均匀的均化泥浆进入均化池进一步匀化、反应,形成半黏稠状的浆体。均化池设计尺寸(长×宽×高)为36 m×20 m×3 m,水力停留时间为2 h。均化池内设有泥浆浓度监测设备,根据监测数据对材料添加量进行实时调控,保证系统的稳定及材料添加量的节省。

### ⑤ 板框压滤脱水系统

板框压滤脱水机房设计尺寸(长×宽×高)为80 m×15 m×9.6 m,配置有8台(套)隔膜式板框压滤机,泥饼生产能力为2 534.4 m<sup>3</sup>/d。均化泥浆由压滤机入料泵输送至板框压滤机,稳定进料压力为0.7~0.8 MPa。压滤系统经进料→压榨→泄压→反吹→卸料等一系列流程将进料浓度为15%的均化泥浆分离成含水率≤35%的泥饼和悬浮物≤20 mg/L的尾水。

板框压滤机系统配套10台压滤机入料泵(8用2备),额定功率为90 kW,为高扬程低流量离心式泥浆泵,是本系统能源消耗的主要来源。

空气压缩系统设有3台110 kW螺杆式空压机与9台储气罐,压缩空气主要作为隔膜滤板压榨用气、反吹用气以及气动阀门用气。反吹后泥浆、气体返回均化池,可对均化池泥浆进行曝气混合,同时也可对高分贝压缩空气水下消音,降低噪声污染。

### ⑥ 尾水回用系统

板框压滤形成的尾水中含有大量剩余的溶解性物质,尾水在压滤机台收集后重力流入沉淀池出口槽,以入流花管及水跃混合的形式将泥浆与尾水及絮凝药剂快速混合,水跃堰内瞬时设计流速为3.0 m/s,水跃高度为1.2 m,絮凝药剂的投加量为泥浆干物质量的0.2%。泥浆与尾水及絮凝药剂混合后在泥浆调节池内缓慢的流速下碰撞接触,絮体增大,加快了泥水分离。

### ⑦ 余水处理系统

泥浆调节池泥水分离后的上清液泵入余水处理系统进行处理。余水处理系统设计最大瞬时处理能力为40 000 m<sup>3</sup>/d,总占地约1 500 m<sup>2</sup>,总设备功率约300 kW,主要包括超磁分离一体机及加药、泵送系统等。襄阳护城河为地表Ⅲ类水体,余水水质较好,余水需处理的主要污染指标为TP及SS,尾水达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)的一级排放标准后泵送至污水厂进行处理。

### ⑧ 泥饼资源化系统

板框压滤后的脱水泥饼经检测合格后,绝大部分送往鱼梁洲作为公园绿化景观造型用土。为探寻其他消纳路径,在场内配套建设100 t/d绿化种植土生产线,板框脱水形成的泥饼经破碎均化、称量配料、强化搅拌、快速堆肥等步骤形成合格的绿化种植土。系统占地750 m<sup>2</sup>,主要设备包括污泥行星式搅拌机、提升斗、配料秤、主控室,设备总功率为80 kW,合格的绿化种植土可用于公园、景观、道路绿化带等绿化种植项目。

## 3 改进实际效果分析

将泥浆调节池的结构形式及尾水回流系统进行了相关改进,根据工程经验及试验数据等相关资料,将泥浆调节池按沉淀区、浓缩区、溢流区三区划分,延长了泥浆颗粒的有效沉淀时间,设计将泥浆集中在取泥口内,增强了泥浆浓缩效果。将板框压滤尾水回流至沉淀池出口槽,充分利用了尾水中的有效组分,能促进泥浆絮凝沉淀。

改进的泥浆调节池使池底泥浆浓度由8%~10%升高至15%~17%,进料浓度的升高减少了板框压滤系统的过滤次数,滤板腔室充满速度更快,在保证脱水泥饼含水率的前提下,使进料时间由原55 min降至40 min,缩短了压滤机进料泵27%的运行

时间,每台(套)设备每日可多处理186.6 m<sup>3</sup>水下自然方底泥,每流程每台机可节省22.5 kW·h电能(见表3)。因此泥浆调节池的结构改进及尾水回流系统的改造提升了运行效率,减少了能源消耗。

表3 改进工艺的物耗能耗

Tab.3 Energy and material consumption of improved process

项 目	东湖通道固结压滤脱水工艺	本工程固结压滤脱水工艺
进料泥浆浓度/%	8~10	15~17
泥饼含水率/%	≤40	≤35
每流程进料时间/min	55	40
单台机生产流程/次	17	22
单台进料泵单流程电耗/(kW·h)	82.5	60
单台板框机产泥饼量/m <sup>3</sup>	217.6	281.6

## 4 结论

通过对泥浆调节池及尾水回收系统的改进,增强了泥浆的浓缩效果,将单流程进料时间由55 min降至40 min,提高了固结压滤脱水工艺的处理效率及效果,降低了生产成本,同时对清淤底泥进行了减量化、无害化、资源化处理,值得在同类工程中推广应用。

## 参考文献:

- [1] 谢丽强,谢平,唐汇娟. 武汉东湖不同湖区底泥总磷含量及变化的研究[J]. 水生生物学报,2001,25(4): 305-310.  
Xie Liqiang, Xie Ping, Tang Huijuan. The concentration and dynamics of sediment phosphorus in various lake regions of Lake Donghu[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2001,25(4):305-310(in Chinese).
- [2] 曾祥英,李尔,张杞蓉,等. 武汉东湖通道湖底淤泥处理工程设计[J]. 中国给水排水,2015,31(16):49-54.  
Zeng Xiangying, Li Er, Zhang Qirong, et al. Design of sediment treatment project of Wuhan East Lake channel[J]. China Water & Wastewater,2015,31(16):49-54(in Chinese).
- [3] 练新,陈洁. 山美水库疏浚底泥的调理改性工艺应用[J]. 中国给水排水,2017,33(18):103-106.  
Lian Xin, Chen Jie. Application of conditioning modification process for dredged sediment in Shanmei Reservoir[J]. China Water & Wastewater, 2017, 33(18):103-106(in Chinese).

(下转第105页)