

生态清淤及淤泥处置技术在水库整治中的应用

汤德意^{1,2}, 沈杰^{1,2}

(1. 浙江广川工程咨询有限公司, 浙江 杭州 310020; 2. 浙江省水利河口研究院, 浙江 杭州 310020)

摘要:为研究生态清淤及淤泥处置技术在深水水库中的应用及效果,以通济桥水库生态清淤工程为例,通过对环保绞吸式挖泥船清淤点附近和水库取水口水质的跟踪监测,分析清淤施工对水库底泥污染物扩散的影响,并对板框压滤处理后的干化土含水率和余水指标进行了检测和分析。结果表明:清淤施工仅对距离挖泥船绞刀头 20 m 范围内的水体产生一定的扰动影响,且持续时间较短,对水库取水口水质基本无影响;清淤得到的高含水率淤泥经板框压滤处理后,土的含水率可降低至 40%~60%,满足运输和资源化利用要求;处理后的余水指标符合达标排放要求。

关键词:生态清淤;淤泥处置;水库底泥;脱水干化;余水处理;资源化利用

中图分类号:TV851 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)03-0070-06

Application of ecological dredging and silt disposal technique in reservoir dredging engineering//TANG Deyi^{1,2}, SHEN Jie^{1,2}(1. Zhejiang Guangchuan Engineering Consulting Co., Ltd., Hangzhou 310020, China; 2. Zhejiang Institute of Hydraulics and Estuary, Hangzhou 310020, China)

Abstract: In order to study the application and the effect of ecological dredging and silt disposal in deep-water reservoirs, the ecological dredging and regulation engineering of Tongjiqiao reservoir was taken as an example. The influence of dredging on the pollutant diffusion in bottom sediment of the reservoir was analyzed through tracking and monitoring the water quality near the cutter suction dredger and reservoir intake. The moisture content of the dry soil after plate and frame filtration treatment and the residual water index was also tested and analyzed. The result shows that the ecological dredging only causes sediment disturbance within 20 meters from the ecological cutter with a short duration, which has no obvious influence on the water quality near the reservoir intake. The moisture content of the silt obtained by dredging can be reduced to 40%~60% after the rapid dehydration treatment, which meets the requirement of sediment transport and resource utilization. The residual water also meets the standard emission requirements during this process.

Key words: ecological dredging; silt disposal; reservoir sediment; dehydration drying; residual water treatment; resource utilization

生态清淤是以改善水环境为主要目的,对清淤精度和污染物二次扩散有较高要求的环保疏浚方式^[1-3],可以清除并安全处理污染底泥,控制和减轻内源污染,是目前最有效的底泥污染处理措施之一^[4-5]。环保绞吸式挖泥船和气力泵船是应用最为广泛的生态清淤设备,其优点是施工扰动影响小,吸入泥浆浓度高,可有效减少污染物的扩散^[6]。生态清淤设备的选择视水深条件而定,环保绞吸式挖泥船适用于水深 30 m 以内的生态清淤,其工作效率高于气力泵船;水深较大时可采用气力泵船,其最大挖深可达 100 m。生态清淤得到的底泥含水率往往极高,呈流体状态^[7],因此在清淤规模较大时需要疏浚底泥进行快速妥善处理,并寻找合适的资源化利用途径。淤泥快速处置是一种可以将高含水率淤

泥在短时间内进行泥水分离的技术^[8-10],以机械脱水法和真空预压法较为常见。机械脱水法具有占地少、脱水效率高、处理效果好等优点,但费用相对较高;真空预压法的造价较低、设备简单,但需要大面积的临时堆场,且处理效果不及机械脱水法。近年来,生态清淤及淤泥处置技术已成功应用于我国南方地区的湖泊清淤工程,典型的有江苏太湖、云南滇池、杭州西湖和安徽巢湖等环保疏浚工程^[11-15],但在大中型水库生态清淤工程中的应用几乎是空白。与湖泊生态清淤相比,水库生态清淤的难点和特殊性主要体现在:①水库大多兼具供水水源功能,生态清淤施工不能影响水库正常供水;②水库的水深水压较大,水流较快,生态清淤施工必须满足水库复杂多变的水下作业环境;③水库库底沉积物往往由胶粒、黏粒和粉粒等细小土颗粒组

成^[16-17],清淤过程中极易受扰动影响而扩散,导致吸附于底泥的污染物质重新释放至水体中,造成二次污染;④水库大多位于山区,其附近往往不具备设置大面积淤泥堆场的条件。

水库生态清淤没有可借鉴的工程经验。为研究生态清淤及淤泥处置技术在深水水库中的应用及效果,本文以浙江省浦江县通济桥水库生态清淤工程^[18]为例,介绍了该工程所运用的生态清淤及淤泥处置关键技术。通过对生态清淤过程中水库水质进行跟踪监测,分析生态清淤施工对水库底泥污染物扩散的影响;对板框压滤处理后的干化土含水率和余水指标进行了检测和分析,并提出了底泥的资源化利用途径。

1 工程概况

通济桥水库位于钱塘江支流浦阳江上游,建于1962年,总库容8 097万m³,库区水深10~30m。水库建成运行至今已50余年,上游径流携带的污染

物长期在库底沉积从而影响了水库水质,水质常年为Ⅲ类、Ⅳ类,属中营养状态,主要影响因子为TN。据底泥勘察结果,水库底泥淤积量达258万m³,底泥污染层、过渡层平均含水率为303%和151%,主要以浮泥、流泥为主,底泥土颗粒主要由胶粒、黏粒和粉粒组成,黏粒和胶粒的比重超过60%,底泥的颗粒组成如表1所示(其中d为粒径)。

据底泥理化分析,重金属、有机毒物含量满足HJ350—2007《展览会用地土壤环境质量评价标准(暂行)》A级标准。TN、TP污染则较严重,TN含量为461~6 915 mg/kg,TP含量为110~6 391 mg/kg。底泥中有机质含量整体处于8%以上,这会促使底泥中N、P的释放量增加。根据释放试验结论,氨氮释放通量为3.62~240.34 mg/(m²·d),磷酸盐释放通量为-3.12~8.16 mg/(m²·d)。底泥中N、P的年释放总量分别约为82.7 t和0.3 t。底泥中的TN、TP含量分布及释放分布特征如图1、图2所示。

表1 通济桥水库底泥颗粒组成

土层	土性	样品数	天然含水率/%	不同粒径颗粒的质量分数/%				中值粒径/mm
				d>0.075 mm	0.005 mm<d≤0.075 mm	0.002 mm<d≤0.005 mm	d≤0.002 mm	
污染层	浮泥	18	303	0.8	35.6	21.4	42.2	0.005
过渡层	浮泥、流泥	18	151	1.6	30.4	19.4	48.6	0.003

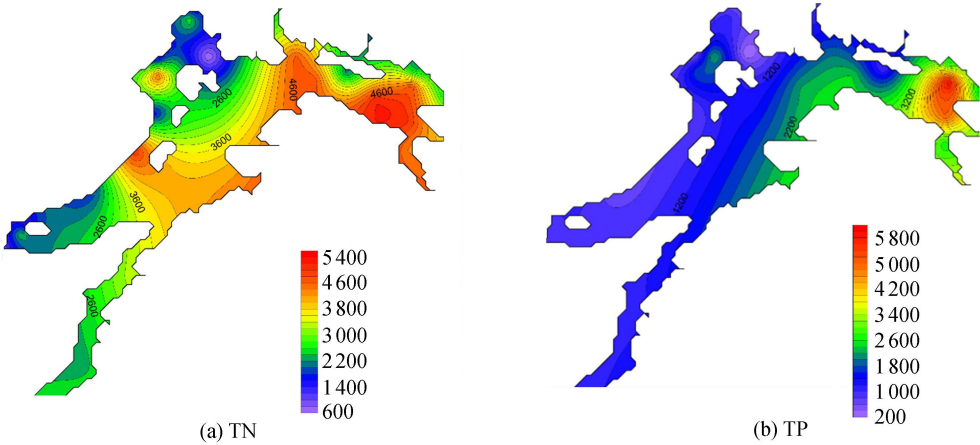


图1 通济桥水库底泥 TN、TP 分布(单位:mg/kg)

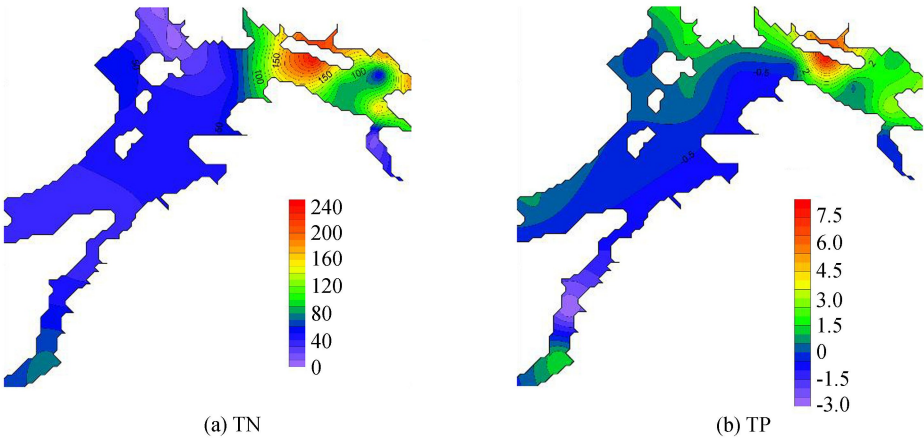


图2 通济桥水库底泥 TN、TP 释放分布(单位:mg/(m²·d))

水库底泥中的污染物含量垂向递减趋势较明显,污染物主要集中在库底淤积的污染层和过渡层。为达到水库水质稳定在Ⅲ类及以上的预期目标,通济桥水库生态清淤以清除水库底泥污染层和过渡层为主,清淤总规模 193 万 m³。各清淤区块(图 3)的清淤水深、清淤厚度和清淤规模如表 2 所示。



图 3 通济桥水库生态清淤平面布置

表 2 通济桥水库生态清淤规模

区块	水深/m	清淤厚度/m	清淤规模/万 m ³
坝前库区	18 ~ 25	1.0 ~ 1.2	37
东部库区	15 ~ 25	0.9 ~ 1.2	56
中部库区	10 ~ 20	0.5 ~ 0.9	64
西部库区	10 ~ 15	0.3 ~ 1.0	28
西南库区	10 ~ 15	0.3	8

2 生态清淤及水质监测分析

2.1 生态清淤技术

根据通济桥水库的水深条件、底泥特性及技术经济合理性,清淤设备选用深水环保绞吸式挖泥船。与传统的绞吸式挖泥船相比,这种挖泥船配有环保绞刀头,其特点是环保绞刀头上装配有导泥挡板、环保密封罩、绞刀水平控制器等装置。施工过程中绞刀水平控制器平贴库底,环保密封罩将绞刀头扰动范围内的底泥有效封盖,使得绝大多数受绞刀头扰动影响的底泥无法扩散至水库水体中,而在吸泥泵的泵吸作用下通过导泥挡板被充分吸走,从而有效地降低了绞刀头工作时对底泥的扰动影响^[19]。因此,生态清淤可以大大减弱水库清淤整治过程中底泥污染物质的释放和悬浮物的扩散^[20]。

正式施工前在水库中部区域进行了现场试挖试验,目的是确定挖泥船绞刀转速和横摆速度的最优值,以确保生态清淤的最佳工作效率。试验数据表明,当绞刀头转速控制在 15 r/min 左右、横摆速度控制在 15 ~ 20 m/min 范围以内时,环保绞刀头的清淤效率最高,也就是说环保密封罩内受扰动的底泥可以最大限度地被泵吸出去而不是扩散至周围水体中。

2.2 水质监测及分析

通济桥水库为饮用水水源地,在生态清淤过程中必须时刻注意清淤点附近、取水口等重要位置的水质情况。在生态清淤过程中,对上述两处位置的水质指标进行实时监测,其中取水口监测点固定在取水口位置处,清淤点监测点位则根据挖泥船的作业位置而动态变化。不同时期挖泥船所在位置如表 3 所示。在取水口及距离清淤点 20 m、50 m、100 m 处设置取样垂线,在水面以下 0.5 m、库底以上 0.5 m 及 1/2 水深处取样,监测指标有 pH、SS、COD_{Mn}、NH₃-N、TN、TP 等。施工前 10 个月每个月监测 1 次,第 11 月开始每 2 个月监测 1 次。

表 3 挖泥船的清淤施工顺序

清淤时间	清淤时段	挖泥船位置
2015 年 10 月—2016 年 3 月	第 1 ~ 5 月	中部库区
2016 年 3 月—2016 年 7 月	第 5 ~ 9 月	东部库区
2016 年 7 月—2016 年 12 月	第 9 ~ 14 月	坝前库区
2016 年 12 月—2017 年 3 月	第 14 ~ 17 月	西部库区
2017 年 3 月	第 17 月	西南库区

生态清淤过程中,清淤点附近水体中各项污染物质量浓度随清淤时长的变化过程如图 4 ~ 6 所示。从监测数据看,水体中 TN、TP、COD_{Mn} 等主要污染物在生态清淤过程中都会受到环保绞刀头的扰动影响而从底泥中释放出来。各项水质指标均随清淤时长先增大后减小,且均在清淤过程中出现过两次峰值,一次是在清淤第 5 ~ 7 月,另一次是在清淤第 10 ~ 14 月。出现两次峰值的原因是清淤工程停工过一次,停工时间是 2016 年 8 月中旬至 2016 年 9 月中旬,而各污染物质量浓度的峰值均滞后于清淤施工且出现的时间也略有差异,其可能的原因是各污染物从底泥中释放至水体中需要一定的时间,底泥中各不同化学成分的污染物在水体中的释放速率不同。停工后再次施工时,水体中各污染物质量浓度又迅速上升,出现第二次峰值,第二次峰值出现在清淤第 10 ~ 14 月,这个时候挖泥船是在底泥污染物含量最高的坝前库区施工,因此第二次峰值比第一次峰值高,且持续时间更长。峰值过后,水体中各污染物浓度迅速降低并趋向稳定,可见,水库生态清淤过程中环保绞刀头的扰动影响只是暂时的。

从图 4 ~ 6 中还可以发现,距离清淤点 20 m 垂线的浓度峰值较其他测点大,尤其是该垂线库底以上 0.5 m 测点,这说明清淤过程中环保绞刀头扰动影响随着与环保绞刀头距离的增大而迅速减弱,生态清淤的扰动影响范围有限,绝大多数悬浮颗粒可以被环保密封罩封盖住,并在泵吸作用下通过导泥挡板被充分吸走,有效避免了悬浮颗粒在水体中的扩散。

水库取水口水质监测数据如图 7、图 8 所示。

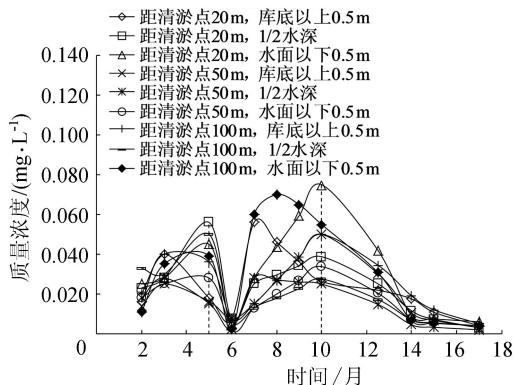


图4 清淤点附近 TP 质量浓度随清淤时间的变化

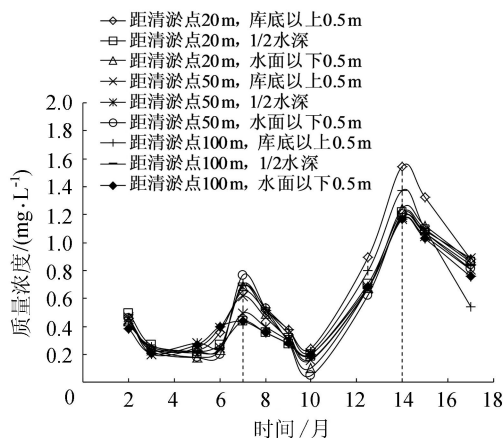


图5 清淤点附近 TN 质量浓度随清淤时间的变化

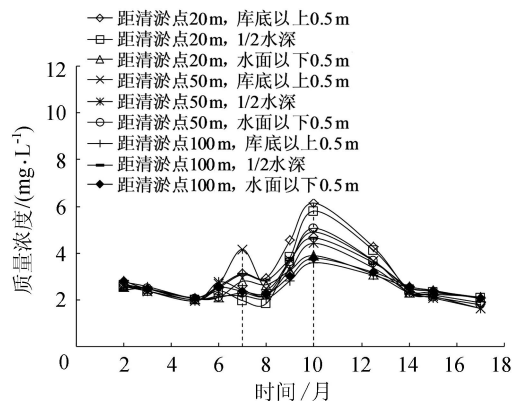


图6 清淤点附近 COD_{Mn} 质量浓度随清淤时间的变化

取水口位置处水体中 TP 质量浓度稳定在 0.002 ~ 0.006 mg/L, 基本不受生态清淤施工的影响。TN 和 COD_{Mn} 质量浓度的变化规律同 TP 大致类似, 只是在清淤第 10 月左右浓度值有略微提高, 因为这个时候挖泥船在底泥污染物含量最高的坝前库区施工, 而水库取水口位于坝前库区, 但是生态清淤的施工扰动影响范围有限, 只对环保绞刀头 20 m 范围内有一定影响, 因此水库取水口监测点水体中 TN 和 COD_{Mn} 质量浓度在略微提高过后便迅速降低并趋于稳定, 这跟之前的规律一样。

水库取水口位置处悬浮物质量浓度的变化规律如图 9 所示。可以发现, 悬浮物质量浓度基本稳定

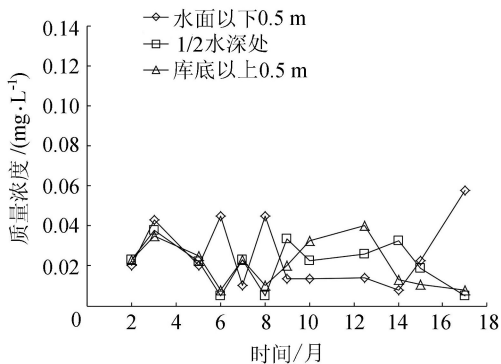


图7 取水口 TP 质量浓度随清淤时间的变化

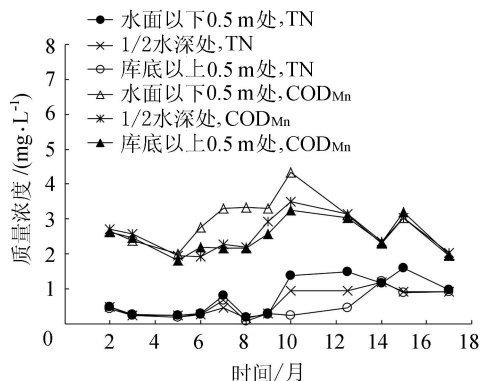


图8 取水口 TN 和 COD_{Mn} 质量浓度随清淤时间的变化

在 4 ~ 12 mg/L 范围内。因此, 清淤过程中取水口位置处的水体未受到扰动影响, 不影响水库正常供水。

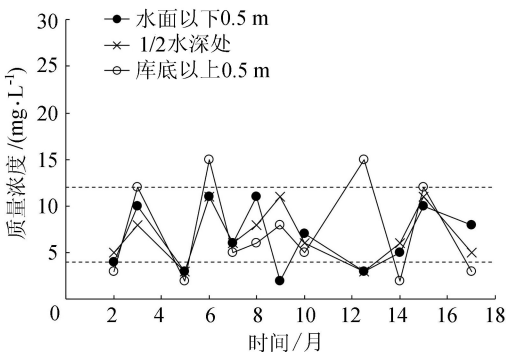


图9 取水口悬浮物质量浓度随清淤时间的变化

3 淤泥快速处置技术

3.1 快速脱水干化

由于清淤工程量大, 水库周边没有设置大面积临时堆场的条件, 淤泥采用板框式压滤机进行机械脱水。

板框式压滤机主要由滤板、滤框、滤布、压紧机构等部分组成^[21], 处理的技术工艺流程如图 10 所示。疏浚底泥通过自动格栅机筛分系统进行漂杂物与粗、细颗粒之间的分选, 分选后产生的漂杂物外运至指定堆场, 粗、细颗粒进入沉淀池, 粗颗粒在沉淀池内沉淀, 细颗粒进入浓缩池, 同时通过自动化

加药系统向泥浆中添加絮凝剂,絮凝剂采用 PAM (聚丙烯酰胺),掺量为 10 ~ 20 mg/L,待泥浆在浓缩池内沉淀浓缩后,利用加压泥泵系统抽取浓缩池内的底部泥浆,同时通过自动化加药系统、管道混合器将添加剂与泥浆混合,随后进入物料池,物料池内的混合泥浆采用搅拌机进行搅拌、调和及均化,再采用加压泥泵系统抽吸并输送至板框式压滤机进行压滤脱水处理。

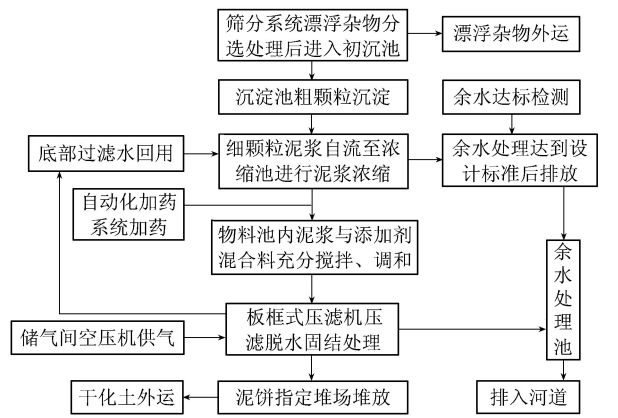


图 10 板框式压滤机处理工艺流程

压滤脱水后的干化土,利用输送机、装载机运至指定堆场集中堆放,同时进行含水率检测,确保达到设计要求。经检测,板框式压滤机的脱水效果非常好,脱水干化后含水率都能基本稳定在 40% ~ 60% 之间,可满足建筑用土的要求。

3.2 余水净化处理技术

淤泥快速处置过程中也必须时刻注意避免二次污染的发生,这就需要对压滤脱水过程中产生的余水进行集中处理:浓缩池上部溢流余水通过处理并达到设计要求后排放至余水处理池;脱水车间内压滤余水先进行过滤,将底部过滤水通过管道回排至浓缩池内,上部过滤余水流入余水处理池。

污染物大部分黏附在底泥细小颗粒上,控制污水中的悬浮物浓度就可以基本控制住有机物和磷、氮营养盐等污染物,达到预定的水质目标,因此余水的净化处理以去除悬浮物为主要目的,具体做法是通过在余水处理池中加入絮凝剂,使余水中悬浮颗粒迅速沉积,絮凝剂采用 PAM,掺量为 10 ~ 20 mg/L,处理过程中的余水水质抽样检测结果如表 4 所示,各项主要水质指标均能达到排放限值要求,处理后的

表 4 余水处理池水质检测结果

检测日期	pH	TP/(mg · L ⁻¹)	NH ₃ -N/(mg · L ⁻¹)	SS/(mg · L ⁻¹)
2015-12-21	7.21	0.049	0.388	6
2016-03-10	7.34	0.045	0.298	33
2016-04-10	7.20	0.048	0.284	7
2016-06-01	6.78	0.075	0.422	12
排放限值	6 ~ 8.5	≤0.1	≤15	≤70

余水通过管道排入附近河道内。

3.3 底泥的资源化利用

底泥脱水干化后得到的干化土可以根据其营养成分、重金属及有机物的成分和比例确定合适的资源化利用途径。然而机械脱水过程中需要添加絮凝剂等添加剂^[22],因此,机械脱水处理后得到的干化土不宜用作农业用土。一般来说,机械脱水处理后的干化土可以考虑用作建筑材料,例如堤防填筑、场地回填、制砖、烧制陶粒等。

本工程干化土总量 98 万 m³,其中 40 万 m³ 送黄宅镇西山矿山,用于修复矿山地表破坏区;38 万 m³ 送白马镇,用于填埋荒废的挖沙坑;20 万 m³ 送浦江县的砖瓦厂用于制砖。

4 结 论

a. 深水环保绞吸式挖泥船在水库生态清淤作业中可以用环保密封罩将受扰动影响的底泥封盖住,并通过泵吸作用将密封罩内的底泥快速高效地输出,因此可有效地控制清淤过程中带来的二次污染。

b. 通过对清淤点附近水质的跟踪监测,清淤施工仅对距离绞刀头 20 m 范围内水体产生一定的扰动影响,且随着与绞刀头距离的增大,这种扰动影响迅速衰减,清淤作业扰动影响的范围较小;绞刀头附近水体中污染物的质量浓度只出现短暂峰值,峰值过后便迅速减小并趋于稳定,清淤作业扰动影响的持续时间较短。

c. 从水库取水口水质监测数据看,各项污染物的质量浓度较为稳定,生态清淤施工对水库取水口的水质基本无影响,这对今后作为饮用水水源的水库生态清淤工程具有借鉴意义。

d. 板框式压滤脱水技术的工作效率较高,挖泥船输送的高含水率水库底泥经短暂絮凝沉淀后,可快速将淤泥的含水率降低至 40% ~ 60%,并作为矿山地表修复和制砖等资源化利用材料,且处理后的余水满足达标排放要求。

参考文献:

[1] 钟继承,范成新. 底泥疏浚效果及环境效应研究进展[J]. 湖泊科学,2007,19(1):1-10. (ZHONG Jicheng, FAN Chengxin. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging[J]. Lake Science,2007,19(1):1-10. (in Chinese))

[2] 颜昌宙,范成新,杨建华,等. 湖泊底泥环保疏浚技术研究展望[J]. 环境污染与防治,2004,26(3):189-192. (YAN Changzhou, FAN Chengxin, YANG Jianhua, et al. Prospect and progress of the study on environmental dredging technology of lake sediment[J]. Environmental

- Pollution & Control, 2004, 26 (3): 189-192. (in Chinese))
- [3] 朱喜, 张杨文. 五里湖水污染治理现状及继续治理对策[J]. 水资源保护, 2009, 25(1): 86-89. (ZHU Xi, ZHANG Yangwen. Control of water pollution in Wuli Lake[J]. Water Resources Protection, 2009, 25(1): 86-89. (in Chinese))
- [4] DUGOPOLSKI R A, RYDIN E, BRETT M T. Short-term effects of a buffered alum treatment on Green Lake sediment phosphorus speciation[J]. Lake and Reservoir Management, 2008, 24(2): 181-189.
- [5] 朱喜, 张杨文. 梅梁湖水污染现状及防治对策[J]. 水资源保护, 2002, 18(4): 28-30. (ZHU Xi, ZHANG Yangwen. Control measures of water pollution in Meiliang Lake[J]. Water Resources Protection, 2002, 18(4): 28-30. (in Chinese))
- [6] 张晴波. 环保疏浚及其控制研究[D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [7] 曹玉鹏, 吉锋. 吹填淤泥沉积规律室内试验[J]. 水利水电科技进展, 2011, 31(3): 36-39. (CAO Yupeng, JI Feng. Model tests on sedimentation behavior of dredged sludge[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2011, 31(3): 36-39. (in Chinese))
- [8] 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. (NI Shougao, GAO Yang, WANG Junze. Application of new sludge dewatering equipment to ecological dredging project of Lake Taihu[J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2012, 43(7): 28-31. (in Chinese))
- [9] 朱伟. 环保疏浚及泥处理 4 大热点话题讨论[J]. 水资源保护, 2016, 32(1): 190-194. (ZHU Wei. Four issues in the field of environmental dredging and mud treatment[J]. Water Resources Protection, 2016, 32(1): 190-194. (in Chinese))
- [10] 包建平, 朱伟, 闵佳华. 中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术[J]. 水资源保护, 2015, 31(1): 56-62. (BAO Jianping, ZHU Wei, MIN Jiahua. Technology of dredging and sludge treatment in small and medium sized river regulation[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(1): 56-62. (in Chinese))
- [11] 陈荷生. 太湖底泥的生态疏浚工程[J]. 水利水电科技进展, 2004, 24(6): 34-37. (CHEN Hesheng. Eco-dredging project of sediment in Taihu Lake[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2004, 24(6): 34-37. (in Chinese))
- [12] 叶上扬, 喻国良, 庞红犁. 太湖蓝藻成因分析与清淤方法探讨[J]. 水资源保护, 2012, 28(2): 30-33. (YE Shangyang, YU Guoliang, PANG Hongli. Analysis of formation of blue-green algae and dredging methods in Taihu Lake[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(2): 30-33. (in Chinese))
- [13] 和丽萍, 陈异晖, 赵祥华. 云南高原湖泊污染底泥环境疏浚工程设计要点问题探析[J]. 云南环境科学, 2006, 25(增刊2): 40-42. (HE Liping, CHEN Yihui, ZHAO Xianghua. Analysis on main designing problem of environmental dredging of polluted sediment in plateau lakes of Yunnan[J]. Yunnan Institute of Environmental Science, 2006, 25(Sup2): 40-42. (in Chinese))
- [14] 吴芝瑛, 虞左明, 盛海燕, 等. 杭州西湖底泥疏浚工程的生态效应[J]. 湖泊科学, 2008, 20(3): 277-284. (WU Zhiying, YU Zuoming, SHENG Haiyan, et al. Ecological effects of the dredging in the West Lake, Hangzhou[J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(3): 277-284. (in Chinese))
- [15] 王广召, 方涛, 唐巍, 等. 疏浚对巢湖重污染入湖河流沉积物中污染物赋存及释放的影响[J]. 湖泊科学, 2014, 26(6): 837-843. (WANG Guangzhao, FANG Tao, TANG Wei, et al. Long-term effects of dredging on pollutant distribution in sediments of a heavily polluted inflow river[J]. Journal of Lake Sciences, 2014, 26(6): 837-843. (in Chinese))
- [16] 赵兴敏, 赵兰坡, 郭欣欣, 等. 水体沉积物与岸边土壤颗粒组成及有机碳分布特征[J]. 水土保持学报, 2014, 28(6): 304-308. (ZHAO Xingmin, ZHAO Lanpo, GUO Xinxin, et al. Particle component and distribution characteristics of organic carbon of sediments in water and shore soils[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2014, 28(6): 304-308. (in Chinese))
- [17] 刘静玲, 李毅, 史璇, 等. 海河流域典型河流沉积物粒度特征及分布规律[J]. 水资源保护, 2017, 33(6): 9-19. (LIU Jingling, LI Yi, SHI Xuan, et al. Grain size characteristics and distribution regularities of typical river sediments in Haihe River Basin[J]. Water Resources Protection, 2017, 33(6): 9-19. (in Chinese))
- [18] 郑盈盈. 还浦江百姓一库清水: 国内首个中型水库深水生态清淤工程开工[N]. 中国水利报, 2015-10-23(1).
- [19] 包建平, 朱伟, 闵佳华. 中小河道治理中的清淤及淤泥处理技术[J]. 水资源保护, 2015, 31(1): 56-62. (BAO Jianping, ZHU Wei, MIN Jiahua. Technology of dredging and sludge treatment in small and medium-sized river regulation[J]. Water Resources Protection, 2015, 31(1): 56-62. (in Chinese))
- [20] 刘鸿亮, 金相灿, 荆一凤. 湖泊底泥环境疏浚工程技术[J]. 中国工程科学, 1999, 1(1): 81-84. (LIU Hongliang, JIN Xiangcan, JING Yifeng. Environment dredging technology of lake sediment[J]. Engineering Sciences, 1999, 1(1): 81-84. (in Chinese))
- [21] 李英昌, 周志鸿. 板框式压滤机技术发展概况[J]. 冶金设备, 2007(4): 42-45. (LI Yingchang, ZHOU Zhilong. Development history of plank filter press technology[J]. Metallurgical Equipment, 2007(4): 42-45. (in Chinese))
- [22] 金雪林, 薛路阳, 金杰. 生态清淤及淤泥快速处置一体化技术的应用[J]. 人民黄河, 2013, 35(9): 43-45. (JIN Xuelin, XUE Luyang, JIN Jie. Application of ecological dredging silt and rapid disposal of the integration technology[J]. Yellow River, 2013, 35(9): 43-45. (in Chinese))