

郭贇,黄晓峰,李海妮,等.城市河道环保疏浚与水利疏浚效果研究:以无锡市梁塘河薛家浜为例[J].环境工程技术学报,2020,10(3):400-405.
GUO Y, HUANG X F, LI H N, et al. Study on the effect of urban river environmental dredging and engineering dredging: taking Xuejiabang, Liangtang River of Wuxi as an example[J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2020, 10(3): 400-405.

城市河道环保疏浚与水利疏浚效果研究 ——以无锡市梁塘河薛家浜为例

郭贇^{1,2}, 黄晓峰^{1,2}, 李海妮^{1,2}, 邱伟建^{1,2}

1. 无锡城市发展集团有限公司

2. 无锡市太湖湖泊治理股份有限公司

摘要 以内源污染严重的无锡市梁塘河薛家浜为研究区,开展环保疏浚和水利疏浚试验,通过疏浚前后底泥和水体中总氮、总磷浓度变化及底泥中氮、磷的静态释放通量,评估2种疏浚方式对河道内源污染削减效果的影响。结果表明:2种疏浚方式都能有效降低底泥中营养盐浓度,环保疏浚后底泥中总氮、总磷浓度分别削减了46.50%和35.51%,水利疏浚后分别削减了40.10%和30.51%。但达到同样疏浚效果时,相较环保疏浚,水利疏浚的工程量增加;在外源污染得到较好控制的前提下,2种疏浚方式均能有效削减内源释放对水体的污染,其中环保疏浚对氮、磷释放通量削减率较高,分别为46.92%和38.53%,水利疏浚则为40.99%和30.09%;考虑到城区土地资源紧缺,水利疏浚易超挖及疏浚后水生态系统较难恢复的问题,建议采取环保疏浚方式解决城市河道内源污染问题。

关键词 环保疏浚;水利疏浚;总氮;总磷;城市河道

中图分类号:X524 文章编号:1674-991X(2020)03-0400-06 doi:10.12153/j.issn.1674-991X.20190104

Study on the effect of urban river environmental dredging and hydraulic dredging: taking Xuejiabang, Liangtang River of Wuxi as an example

GUO Yun^{1,2}, HUANG Xiaofeng^{1,2}, LI Haini^{1,2}, QIU Weijian^{1,2}

1. Wuxi Urban Development Group Co., Ltd.

2. Wuxi Taihu Lake Restoration Co., Ltd.

Abstract In view of the serious endogenous pollution in Xuejiabang, Liangtang River of Wuxi City, two dredging methods, including environmental dredging and hydraulic dredging, were applied to evaluate the effect of dredging on the reduction of endogenous pollution in river by studying the changes of total nitrogen and total phosphorus in sediment and water before and after dredging, and the static release flux from the sediment. The results showed that the two dredging methods could effectively reduce the nutrient contents in the sediment. After environmental dredging, the total nitrogen and total phosphorus concentrations were reduced by 46.50% and 35.51%, respectively, and after hydraulic dredging, the total nitrogen and total phosphorus concentrations were reduced by 40.10% and 30.51%, respectively. But to achieve the same dredging effect, hydraulic dredging would lead to an increase in the amount of work compared with environmental dredging. On the premise of better control of exogenous pollution, both the two dredging methods could effectively reduce the pollution caused by endogenous release to water. The nitrogen and phosphorus release flux reduction rate of environmental dredging was higher with 46.92% and 38.53%, respectively, while that of hydraulic dredging was 40.99% and 30.09%, respectively. In

收稿日期:2019-06-13

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07101-013-02)

作者简介:郭贇(1988—),女,工程师,硕士,主要研究方向为环境修复,guoyun007@sina.cn

view of the shortage of land resources in urban areas, the problem of easy over-digging by hydraulic dredging and the difficulty in recovering the water ecosystem after dredging, it was suggested to adopt the environmental dredging method to solve the problem of the internal pollution of urban river courses.

Key words environmental dredging; hydraulic dredging; total nitrogen; total phosphorus; urban river

近年来,随着经济高速发展,城市生活和工业生产密集化,导致高通量的污染负荷产生并进入水体。许多地区对水污染问题高度重视,采取控源截污等手段阻断污染物进入水体。对于河流来讲,外源污染得到控制后,沉积在河流底泥中的污染物会逐步向水体释放,导致河流水质恶化。底泥是河流水生态系统中物质交换和能量流动的重要中枢之一,在外源污染得到控制的基础上开展河流底泥污染治理对河流水质持续改善非常必要^[1]。底泥污染控制主要包括异位控制和原位控制两大类技术,原位控制技术主要采取固定或生物降解等技术手段^[2],异位控制技术常采用底泥疏浚直接从水体中去除底泥污染^[3]。有研究认为,当底泥中污染物浓度高出其本底值2~3倍时,则存在对水生态系统的潜在危害,需考虑进行疏浚^[4]。

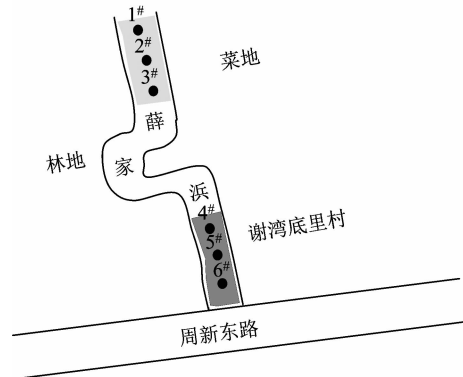
底泥疏浚包括环保疏浚和水利疏浚2种方式。环保疏浚目的在于清除沉积在底泥表层的污染物富集层,将污染物移出水体,削减内源污染负荷^[5-7]。杭州西湖于1999—2002年开展了环保疏浚,疏浚后底泥中氮、磷浓度降低,水体营养状况好转^[8]。水利疏浚通过抓、挖、冲等方式清除淤积土方,按工程标高设计疏浚深度^[9],达到浚拓土方、拓宽河道、增加通航水深^[10]等目的。水利疏浚主要通过测量疏挖土方量衡量疏浚效果,而较少考虑疏浚对水环境和后续生态重建的影响。笔者比较了2种疏浚方式在疏浚前、后底泥和水体中氮、磷浓度的差异,分析疏浚方式对水体氮、磷浓度的影响及水质改善效果,以期为城市河道内源污染治理适用疏浚技术的选择提供依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

选择无锡市梁塘河支浜——薛家浜为研究区(图1)。梁塘河位于太湖新城北部边界,起始于京杭大运河,穿过无锡市太湖新城流入太湖五里湖,是无锡市城市总体规划中确定的老城和新城之间的重要开敞空间,其流域生态环境对无锡市太湖新城、太湖以及大运河有重要影响。薛家浜位于周新东路以北,河道长约350 m,宽约15 m。根据笔者的调查,薛家浜底泥淤积深度约为1.5 m,底泥中总氮、总磷

浓度平均为3 007、720 mg/kg。



注:1#~3#为水利疏浚采样点;4#~6#为环保疏浚采样点

图1 研究区及采样点分布

Fig. 1 Test area and sampling points distribution

1.2 试验设计

在薛家浜分区域研究水利疏浚和环保疏浚2种疏浚方式对河道水体氮、磷浓度的影响。在河道北侧50 m(图1灰色区域)开展水利疏浚,在河道南侧50 m(图1黑色区域)开展环保疏浚。

水利疏浚试验主要采用目前国内较常见的河道清淤方式——干河清淤,该方式适合可以封闭的河段,用于季节性河流、非主河道及短时间内能完成疏浚的小型河道,具有方便、灵活、适应能力强等特点^[11]。疏浚时,通过设置临时土坝使河道断流,用水泵将河水抽干,用机械设备将淤积底泥挖出。水利疏浚挖至底泥硬质土层上0.5 m,疏浚深度约为0.98 m^[12]。疏浚完成后挖开土坝,引进主河道河水,恢复正常水位。水利疏浚工艺流程见图2。

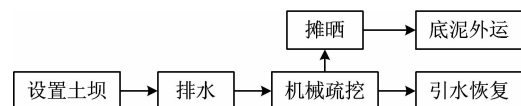


图2 水利疏浚工艺流程

Fig. 2 Engineering dredging process diagram

由于薛家浜城区段(近周新东路)河道水面宽度较窄,边坡为浅滩,因此,在该河段进行环保疏浚试验时,采用特制的小型生态清淤平台进行作业,以减少对水体的扰动。根据底泥调查得到的污染物垂向浓度分布,确定疏浚深度为0.64 m^[12]。疏浚泥

浆通过振动筛的筛分有效清除垃圾、砾石和细沙等固体杂质;剩余泥浆加药后被泵送至浓缩箱进行强化混凝,同时在箱体内澄清及浓缩;从浓缩装置底部

吸取淤泥进入泥浆调理箱,该箱内伴有连续打碎装置,可有效保持淤泥浓度恒定,调理后输送至淤泥脱水装置进行固液分离^[13]。环保疏浚工艺流程见图3。

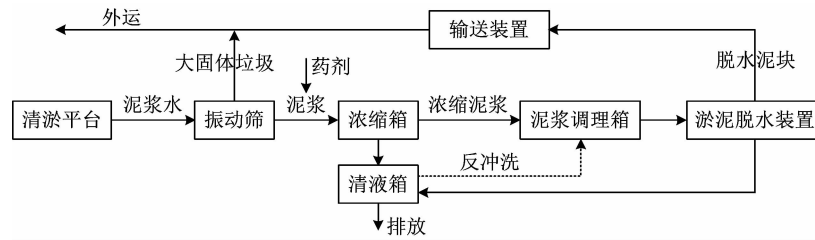


图3 环保疏浚工艺流程

Fig. 3 Environmental dredging process diagram

1.3 样品采集

采用内径为84 mm的柱状采样器,分别于疏浚前、后采集底泥柱状样品,在水利疏浚区采集1#、2#、3#样品,在环保疏浚区采集4#、5#、6#样品。采集的柱状样上端保留水样,两端用橡皮塞塞紧后垂直放置,带回实验室,用于底泥-上覆水界面氮、磷静态释放试验。分别于疏浚前、后取底泥表层样品,测定底泥中总氮、总磷浓度。分别于疏浚前、后用采水器在每个采样点距底泥表层20 cm处采集上覆水,用于氮、磷释放试验及水质指标测定。

1.4 底泥-上覆水界面营养盐静态释放模拟试验

底泥柱状样运抵实验室后,垂直放置在20℃恒温水浴中避光培养。用虹吸法抽去柱状样的上覆水,将同步采集的上覆水过滤后用虹吸法沿内壁缓缓加入至液面高度距底泥表层30 cm处停止,同时对高度进行标注。即刻取原水样作为初始水样,之后分别于第2、4、6、8天用移液管从液面下20 cm处取100 mL水样,用于水质指标测定,同时用原采样点的过滤上覆水补充维持柱状样内水位。试验设置2个平行样。

1.5 指标测定方法

水样总氮浓度采用HJ 636—2012《水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法》测定,总磷浓度采用GB 11893—1989《水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法》测定;底泥样品总氮浓度采用HJ 717—2014《土壤质量 全氮的测定 凯氏法》测定,总磷浓度采用HJ 632—2011《土壤 总磷的测定 碱熔-钼锑抗分光光度法》测定。

2 结果与分析

2.1 2种疏浚方式对底泥营养盐去除效果

2种疏浚方式下疏浚前、后底泥中总氮、总磷浓

度如图4所示。

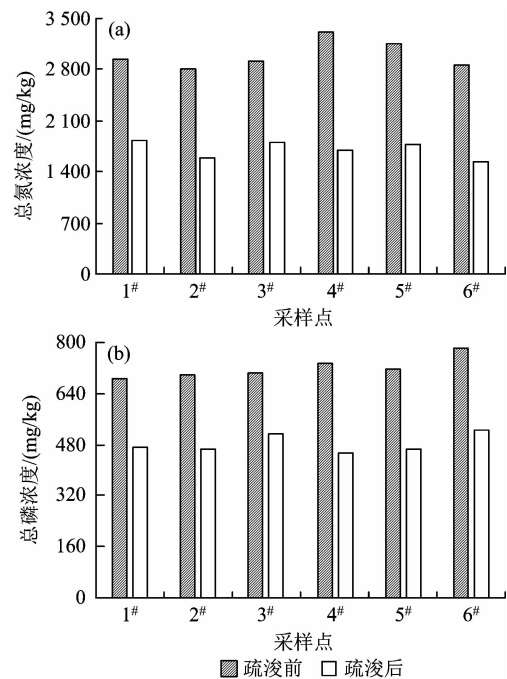


图4 2种疏浚方式下疏浚前、后底泥中营养盐浓度

Fig. 4 Nutrient content in sediments before and after dredging under two dredging methods

由图4可知,2种疏浚方式下,相较疏浚前,疏浚后河道表层底泥营养盐浓度均明显下降。其中,水利疏浚总氮平均浓度由疏浚前的2898 mg/kg降至1736 mg/kg,削减率达40.10%,总磷平均浓度由696.00 mg/kg降至483.67 mg/kg,削减率达30.51%;环保疏浚总氮平均浓度由3117 mg/kg降至1667 mg/kg,削减率达46.50%,总磷平均浓度由745.33 mg/kg降至480.67 mg/kg,削减率达35.51%。可见,2种疏浚方式均能有效去除底泥中营养盐,减轻河道的内源污染负荷,且环保疏浚对河

道表层底泥总氮、总磷的削减率均略高于水利疏浚。这与毛志刚等^[14-15]提出的疏浚后底泥中营养盐及重金属浓度比较低的结果相一致。2种疏浚方式下,虽然疏浚前表层底泥中总氮、总磷浓度有一定的差异,但疏浚后均相差不大,说明环保疏浚至0.64 m深度时,已较好地去除了河道的污染底泥层,疏浚后新生的表层底泥营养盐浓度与水利疏浚至0.98 m新生的硬底层接近。则相较环保疏浚,水利疏浚多疏浚了0.34 m厚度的底泥,增大了疏浚工程量。

2.2 2种疏浚方式对上覆水体营养盐浓度的影响

2种疏浚方式下静态释放模拟试验上覆水中总氮、总磷浓度变化如图5所示。由图5(a)可知,水利疏浚前上覆水体总氮初始浓度为2.3 mg/L,释放第8天增至4.5 mg/L;疏浚后总氮初始浓度为1.7 mg/L,释放第8天增至2.8 mg/L。环保疏浚前上覆水体总氮初始浓度为2.7 mg/L,释放第8天增至5.2 mg/L;疏浚后总氮初始浓度为2.2 mg/L,释放第8天增至3.5 mg/L。由图5(b)可知,水利疏浚前上覆水体总磷初始浓度为0.11 mg/L,释放第8天增至0.33 mg/L,疏浚后总磷初始浓度为0.09 mg/L,释放第8天增至0.23 mg/L。环保疏浚前上覆水体总磷初始浓度为0.13 mg/L,释放第8天增至0.33 mg/L;疏浚后总磷初始浓度为0.11 mg/L,释放第8天增至0.22 mg/L。

可见,无论疏浚前还是疏浚后,2种疏浚方式下上覆水体总氮和总磷浓度均随释放的进行呈上升趋势,说明正常情况下,底泥中氮、磷会释放出来,影响上覆水体中氮、磷浓度。水利疏浚方式下,相较疏浚前,疏浚后上覆水体中总氮和总磷浓度分别下降了37.78%和30.30%;环保疏浚方式下,总氮和总磷浓度分别下降了32.69%和33.33%。表明在外源污染得到较好控制的前提下,疏浚在一定程度上可削减内源释放对水体的污染。钟继承等^[16-17]研究也显示,底泥疏浚可作为控制内源氮、磷释放的可选措施之一。

2.3 2种疏浚方式下底泥中营养盐静态释放通量对比

2种疏浚方式下底泥中营养盐静态释放通量表1所示。由表1可知,从氮释放通量来看,水利疏浚前为141.70 mg/(m²·d),疏浚后降至83.62 mg/(m²·d),削减率达40.99%;环保疏浚前为168.42 mg/(m²·d),疏浚后降至89.39 mg/(m²·d),削减率达46.92%。从磷释放通量来看,水利疏浚前为12.46 mg/(m²·d),疏浚后降至8.71 mg/(m²·d),削

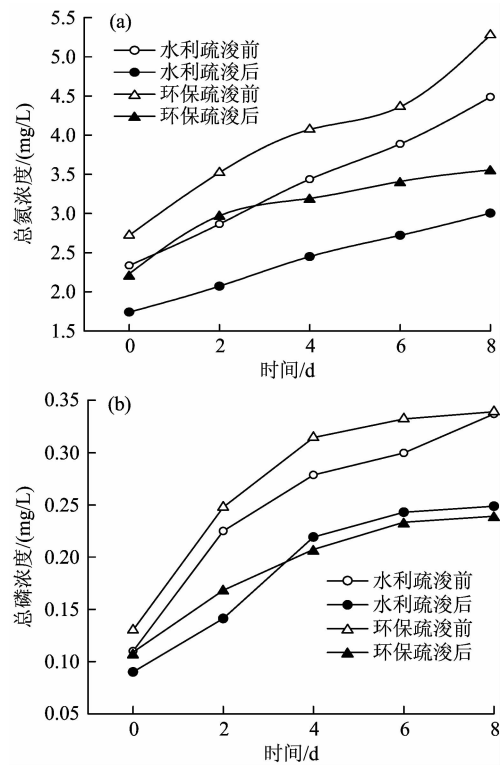


图5 2种疏浚方式下疏浚前、后底泥释放至上覆水体营养盐浓度的变化

Fig. 5 Nutrient content in the overlying water from sediment release before and after dredging under two dredging methods

表1 2种疏浚方式疏浚前后底泥中营养盐释放通量对比
Table 1 Comparison of nutrients release flux in sediment before and after two dredging methods

疏浚方式	采样点	mg/(m ² ·d)			
		氮释放通量		磷释放通量	
		疏浚前	疏浚后	疏浚前	疏浚后
水利疏浚	1#	128.15	92.18	10.04	8.30
	2#	154.64	90.01	12.32	8.98
	3#	142.30	68.66	15.02	8.85
	平均	141.70	83.62	12.46	8.71
环保疏浚	4#	185.01	96.83	11.70	6.71
	5#	154.44	93.45	11.76	7.46
	6#	165.81	77.90	11.44	7.28
	平均	168.42	89.39	11.63	7.15

减率达30.09%;环保疏浚前为11.63 mg/(m²·d),疏浚后降至7.15 mg/(m²·d),削减率达38.53%。综上,2种方式疏浚后底泥氮、磷释放通量均较疏浚前明显降低,其中环保疏浚后的氮释放通量较水利疏浚后略高,而磷释放通量则较水利疏浚后显著降

低,表明环保疏浚对底泥中总磷释放起到了更好的削减效果。

3 讨论

河道水利疏浚侧重按工程目的要求设计疏浚的深度和底部标高^[18],并以土方量作为控制依据衡量疏浚效果;环保疏浚以将污染物移出水体,改善水生生态系统为目标。环保疏浚的疏浚机械头装置密闭,抽吸能力强,分区封闭吸疏式施工能避免产生较大扰动,通过局部薄层疏浚,可减少对生态系统的破坏。环保疏浚可精确高效地将部分藻类活体、浮游动植物、死亡藻类和动植物残骸等底泥-上覆水界面高营养盐浓度和半悬浮状的类胶体物质清除,在尽可能减少工程量的前提下较为彻底地去除污染底泥,同时考虑保留生物多样性,便于后期水生生物自我修复。本试验中,环保疏浚后底泥的静态释放通量与疏浚前相比明显降低,为后续水质改善及水生生态恢复创造了较好的条件^[19]。王琦等^[20]对环保疏浚后的监测发现,湖泊水生态呈现逐年恢复趋势。

环保疏浚后底泥中磷释放通量明显小于水利疏浚。这是由于水利疏浚采用挖机挖除底泥,对底泥-上覆水界面造成破坏,且疏挖施工有一定的不均匀性,易造成疏挖残留。有研究表明,疏浚时扰动强度过大会增加底泥间隙水中磷向上覆水体的释放,从而增加上覆水体中磷浓度^[21]。而环保疏浚通过抽吸方式清除污染底泥,减少了疏浚后污染物的残留,并提高了底泥-上覆水界面的溶解氧浓度,使底泥中磷释放受到抑制^[22]。

4 结论与建议

(1)环保疏浚和水利疏浚均能有效去除底泥中营养盐,减轻河道的内源污染。相较疏浚前,环保疏浚后底泥中总氮、总磷浓度分别削减了 46.50%、35.51%,水利疏浚后分别削减了 40.10%、30.51%,环保疏浚对总氮、总磷的削减率均略高于水利疏浚。但在达到同一疏浚效果时,相比于环保疏浚,水利疏浚会增加疏浚工程量。

(2)在外源污染得到较好控制的前提下,2种疏浚方式均能有效削减内源释放对水体的污染。水利疏浚后上覆水体中总氮、总磷浓度分别下降了 37.78% 和 30.30%,环保疏浚后分别下降了 32.69% 和 33.33%。相较疏浚前,水利疏浚后底泥中氮、磷静态释放通量削减率分别达 40.99% 和 30.09%,环保疏浚后分别达 46.92% 和 38.53%,环

保疏浚可使底泥磷释放得到更好的抑制。

2种疏浚方式均能有效去除城市河道的内源污染,从源头阻断内源污染物进入水体,从而改善水体质量。但由于很多城市河道施工场所有限,加之对生态水量的要求,大型机械设备及干河水利疏浚操作不便,同时干河疏浚方式会导致新生的表层底质坚硬,水生植物较难存活,对疏浚后水生生态系统的重构十分不利。综合考虑良好的社会、经济、生态效应以及操作可行性、安全性等问题,建议采取环保疏浚方式消除城市河道内源污染。在环保疏浚工程实施过程中,应注意精确控制疏挖精度,防止产生二次污染,并做好疏浚后沿岸带基底的恢复,为生态护岸工程创造条件。

参考文献

- [1] 曹承进,陈振楼,王军,等.城市黑臭河道底泥生态疏浚技术进展[J].华东师范大学学报(自然科学版),2011(1):32-42. CAO C J, CHEN Z L, WANG J, et al. Review of sediment ecological dredging in urban black-odors river treatment [J]. Journal of East China Normal University (Natural Science), 2011(1):32-42.
- [2] 郭赞,赵秀红,黄晓峰,等.原位活性覆盖抑制河道底泥营养盐释放的效果研究及工程化应用[J].环境工程,2018,36(6):6-11. GUO Y, ZHAO X H, HUANG X F, et al. Study on in-situ active capping for eutrophic sediment nutrients control in river and its engineering application [J]. Environmental Engineering, 2018, 36(6):6-11.
- [3] 柏学凯,雷立改.污染底泥处理的研究进展[J].宁夏农林科技,2012,53(10):140-142. BAI X K, LEI L G. Progress on treatment of contaminated sediments [J]. Ningxia Journal of Agriculture and Forestry Science & Technology, 2012, 53(10):140-142.
- [4] 毕磊,邱凌峰.污染底泥修复治理技术[J].中国环保产业,2010(11):32-35. BI L, QIU L F. Treatment technologies of remediation for contaminated sediment in rivers [J]. China Environmental Protection Industry, 2010(11):32-35.
- [5] 陈荷生,江溢,宋祥甫,等.太湖湖内综合治理技术[J].水利水电技术,2002,33(12):46-49. CHEN H S, JIANG Y, SONG X F, et al. The technique to comprehensively harness water pollution in Taihu Lake [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2002, 33(12):46-49.
- [6] 张景钰,方江华.关于太湖污染底泥生态疏浚工程的探讨[J].西部探矿工程,2005(2):213-215. ZHANG J Y, FANG J H. Discussion on ecological dredging project of Taihu Lake contaminated sediments [J]. West-China Exploration Engineering, 2005(2):213-215.
- [7] 吴沛浦,刘劲松,胡晓东,等.漏湖北部底泥疏浚的生态效应

- 研究[J]. 水生态学杂志, 2015, 36(2): 32-38.
- WU P P, LIU J S, HU X D, et al. Ecological effects of dredging on aquatic ecosystem in northern Gehu Lake [J]. Journal of Hydroecology, 2015, 36(2): 32-38.
- [8] 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 Z Y, YU Z M, SHENG H Y, et al. Ecological effects of the dredging in the West Lake, Hangzhou [J]. Journal of Lake Sciences, 2008, 20(3): 277-284.
- [9] 米帅. 杭州河道清淤方式技术研究[J]. 市政技术, 2016, 34(1): 114-116.
- MI S. On the river dredging mode in Hangzhou [J]. Municipal Engineering Technology, 2016, 34(1): 114-116.
- [10] LAGER T, HAMER K, SCHULZ H D. Mobility of heavy metals in harbor sediments: an environmental aspect for the reuse of contaminated dredged sediments [J]. Environmental Geology, 2005, 48: 92-100.
- [11] 余灿. 河道底泥环保疏浚方式及处理方案研究[J]. 科学技术创新, 2018(12): 95-96.
- [12] 引梁塘河河道污染底泥环保疏浚工程示范技术报告[R]. 无锡: 无锡城市发展集团有限公司, 2018.
- [13] 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 X L, XUE L Y, JIN J. Application of ecological dredging silt and rapid disposal of the integration technology [J]. Yellow River, 2013, 35(9): 43-45.
- [14] 毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 等. 太湖东部不同类型湖区底泥疏浚的生态效应[J]. 湖泊科学, 2014, 26(3): 385-392.
- MAO Z G, GU X H, LU X M, et al. Ecological effects of dredging on aquatic ecosystem in the different regions of eastern Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2014, 26(3): 385-392.
- [15] 俞海桥, 方涛, 夏世斌, 等. 不同生态修复措施下太湖西五里湖沉积物氮磷形态的时空分布[J]. 湖泊科学, 2007, 19(6): 683-689.
- YU H Q, FANG T, XIA S B, et al. Seasonal and vertical distribution of nitrogen and phosphorus in the sediment under different ecological restoration measures in the West Lake Wuli, Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(6): 683-689.
- [16] 钟继承, 刘国锋, 范成新, 等. 湖泊底泥疏浚环境效应: I. 内源磷释放控制作用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(11): 84-93.
- ZHONG J C, LIU G F, FAN C X, et al. Environmental effect of sediment dredging in lake: I. the role of sediment dredging in reducing internal phosphorous release [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(11): 84-93.
- [17] 钟继承, 刘国锋, 范成新, 等. 湖泊底泥疏浚环境效应: II. 内源氮释放控制作用[J]. 湖泊科学, 2009, 21(3): 335-344.
- ZHONG J C, LIU G F, FAN C X, et al. Environmental effect of sediment dredging in lake: II. the role of sediment dredging in reducing internal nitrogen release [J]. Journal of Lake Sciences, 2009, 21(3): 335-344.
- [18] 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 H S. Eco-dredging project of sediment in Taihu Lake [J]. Water Resources and Electric Power, 2004, 24(6): 34-37.
- [19] 王栋, 孔繁翔, 刘爱菊, 等. 生态疏浚对太湖五里湖湖区生态环境的影响[J]. 湖泊科学, 2005, 17(3): 263-268.
- WANG D, KONG F X, LIU A J, et al. Analysis of the influence of the ecological dredging to ecosystem of Lake Wuli, Lake Taihu [J]. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(3): 263-268.
- [20] 王琦, 李中华. 太湖梅梁湖生态疏浚工程实施效果研究[J]. 中国港湾建设, 2012(6): 21-23.
- WANG Q, LI Z H. Study on effect of ecological dredging in Meiliang Lake in the Taihu Lake [J]. China Harbour Engineering, 2012(6): 21-23.
- [21] 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 J C, FAN C X. Advance in the study on the effectiveness and environmental impact of sediment dredging [J]. Journal of Lake Sciences, 2007, 19(1): 1-10.
- [22] LEE-HYUNG K, EUIISO C, KYUNG-IK G, et al. Phosphorus release rates from sediments and pollutant characteristics in Han River, Seoul, Korea [J]. Science of the Total Environment, 2004, 321(1/2/3): 115-125. ◇