

滇池污染底泥环保疏浚一期工程实施后环境效益评估

胡小贞¹, 金相灿¹, 刘倩¹, 李发荣²

(1. 中国环境科学研究院国家环境保护湖泊污染控制重点实验室, 北京 100012; 2. 昆明市环境监测中心, 云南 昆明 650032)

摘要: 通过对滇池草海污染底泥环保疏浚一期工程实施前后水质、底质及水生生物的监测和分析, 评价工程实施后对改善草海水质, 减轻内源负荷及对水生态恢复的环境效益。结果表明, 疏浚工程直接去除了草海污染底泥层, 随污染层分别去除 TN、TP 20 538 t 和 1 716 t。疏浚后草海水体透明度由 0.37 m 提高到 0.80 m, 水体中的 TN 和 TP 由疏浚前的 8.91 mg/L 和 1.07 mg/L 降低到疏浚后的 8.15 mg/L 和 0.69 mg/L。疏浚后新生界面层促使形成新的水—沉积物的平衡, 水质与底质条件改善以及水下光照条件超过沉水植物恢复的需求, 是疏浚后水生态呈现恢复趋势的机理。

关键词: 滇池; 底泥; 环保疏浚; 环境效益; 评估

中图分类号: X820.3

文献标识码: A

文章编号: 1674-6732(2010)-04-0046-04

Study on Environmental Benefits of Environmental Dredging the First Phase Project in Lake Dianchi

HU Xiao-zhen¹, JIN Xiang-can¹, LIU Qian¹, LI Fa-rong²

(1. State Environmental Protection Key Laboratory for Lake Pollution Control, Research Center of Lake Environment, Chinese Research Academy of Environment Sciences, Beijing 100012, China; 2. Kunming Environmental Monitoring Center, Kunming, Yunnan 650032, China)

ABSTRACT: Based on monitoring and analysis of data of water quality, sediment and aquatic organism before and after the project, the environmental benefits of the Lake Dianchi Dredging the First Phase Project were evaluated. The results showed that dredging directly removed the contaminated sediment layer of Caohai with simultaneously removal of pollutant TN and TP 20 538 t and 1 716 t respectively. After dredging, main water quality indexes such as TN and TP decreased from 8.91 mg/L to 8.15 mg/L and 1.07 mg/L to 0.69 mg/L respectively, which led to increase of water transparency from 0.37 m to 0.80 m. Formation of new interfacial layer after dredging forced starting new balance between water and sediment, which contributed to improvement of water quality. And the improvement of aquatic and sediment quality after dredging, especially increase of underwater light conditions, was the mechanism of restoration trend of aquatic ecosystems of Caohai.

KEY WORDS: Lake Dianchi; sediment; environmental dredging; environmental benefits; evaluation

滇池是中国著名的高原湖泊, 30 多年来由于受到沿湖地区经济快速发展、人口迅速增加以及昆明市旅游业及滇池养殖业迅猛发展等因素的影响, 滇池尤其是草海异常富营养化, 出现全湖水水质劣 V 类的严重状况。草海水质受到污染的同时, 底质也受到严重污染。底质是湖泊水体营养盐的蓄积库, 严重污染的底泥是草海潜在的污染源, 在外源得到一定的控制后, 底泥中的营养盐会释放出来进入水体, 持续维持富营养化, 危害极大^[1, 2]。针对这一问题, 昆明市实施了中国第一例环保疏浚工程——滇池草海污染底泥一期疏浚工程, 实施时间为 1998 年 3 月至 1999 年 3 月, 采用国产 JYP 型绞

吸式挖泥船, 直接并较精确地去除了内草海污染底泥层, 去除污染底泥量 424 万 m³^[3, 4]。笔者通过对工程实施前后草海水质指标变化、底质中污染物含量变化及水生态各主要类群的变化等的监测和分析, 评估该工程的实施对草海所产生的环境效益。

收稿日期: 2009-06-15; 修订日期: 2010-06-18

基金项目: 国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项项目(2009ZX07106-005), 国家公益性行业科研专项项目(200909048)。

作者简介: 胡小贞(1975—), 女, 副研究员, 硕士, 从事湖泊水污染防治工作。

1 监测与分析方法

为进行工程实施前后水质与水生态变化的评价,参照《湖泊营养化调查规范》^[5],结合草海水域常规监测点位,在草海共设置了13个点位,分别在工程实施前(1997年4月—1998年3月)和工程实施后(1999年3月—11月)进行水样采集和分析,在工程实施前后分别进行了一次水生生物样品采集,按《淡水浮游生物研究方法》等文献进行研究^[6]。

为评价工程实施后污染层的清除和底质的变化,在工程实施后分别在草海疏挖区和非疏挖区各设5个点,用柱状采样器采集底质柱状样,分层分析底质中污染物含量,取平均值进行疏挖区和非疏挖区底质污染程度的评估。

2 疏浚工程实施后内源污染物去除量估算

疏浚工程最直接的效果就是清除了草海中的污染底泥层及其中大量的氮(N)、磷(P)和重金属污染物。根据一期疏挖区、继续疏挖区及未疏挖区的污染层污染物浓度及污泥量,计算出一期疏浚工程去除污染物量及对污染物的去除率,结果为:去除总氮(TN)约20 538 t,总磷(TP)约1 716 t,去除率分别

为51.9%及45.3%。去除掉的重金属污染物约占草海污染底泥中重金属总量的83.3%,其中汞3.14 t,铬128.25 t,锌1 567.9 t,铜1 175.9 t,铬169.52 t及砷530 t。经过环境疏浚,积存于污染底泥中的各种污染物从草海水体中被有效去除。

3 疏浚前后生态环境对比调查评估

3.1 疏浚工程实施后草海水质影响评估

根据在草海布设的13个监测点位,获取工程不同阶段草海主要水质指标的检测数据(表1),水质中透明度、溶解氧、叶绿素a、总氮、总磷、生化需氧量、硝酸盐氮等指标均有不同程度的改善。透明度(SD)由疏挖前的0.34 m提高到疏挖后的0.62 m;TN、TP分别由疏挖前的8.91 mg/L和1.07 mg/L降低到8.15 mg/L和0.69 mg/L;BOD和COD_{Mn}由疏挖前的18.63 mg/L和9.82 mg/L降低到疏挖后的8.00 mg/L和8.43 mg/L;草海整体水质由疏挖前的劣V类上升为V类,提高了一个等级。可见,由于草海污染底泥疏浚工程直接去除了内草海表层污染底泥层,露出较为清洁的底泥层,使水泥间形成新的平衡,有利于草海主要水质指标的改善。

表1 疏浚前后草海主要水质指标变化(多个月平均值)

时 期	SD/m	$\rho(\text{DO})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Chla})/$ ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{BOD})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD}_{\text{Mn}})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{PO}_4^{3-})/$ ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)
疏挖前	0.34	3.97	186.66	8.91	1.07	18.63	9.82	0.47
疏挖后	0.62	5.25	193.5	8.15	0.69	8.00	8.43	0.38

对藻类的监测结果表明,工程实施后由于水质的改善,水体中浮游植物种类减少,数量也逐渐减少。疏挖前草海共有浮游植物5门22属,藻类数量平均为6 139万个/L,据1999年3月—11月的监测结果,疏挖后草海共有浮游植物5门13属,比疏挖前减少了9属。藻类数量平均为3 795万个/L,见图1。在1999年3月草海疏浚工程竣工后,疏挖区藻类的数量明显低于非疏挖区,从而大大降低了“水华”现象的发生。

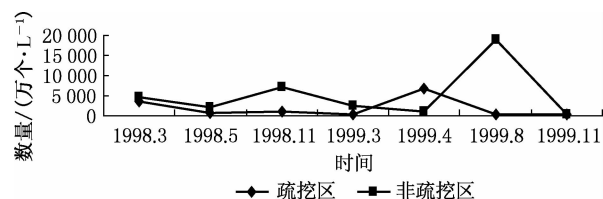


图1 疏挖前后草海水体中藻类数量变化

3.2 疏浚工程实施后草海底质影响评估

调查结果显示(图2),疏挖区底泥中N、P的含量大大降低,分别为非疏挖区的43.1%和24.1%,P的降低最为明显,疏挖区底泥中P的质量分数仅为0.04%。疏挖区底泥中重金属和As的浓度大大低于非疏挖区,其中以As的降低最为明显,疏挖区浓度仅为非疏挖区的5.6%左右;其次是Zn、Pb、Cd,疏挖区分别为非疏挖区浓度的12.54%,20.36%和12.27%;Cu降低得最少,为非疏挖区浓度的40%左右。可见,通过污染底泥环保疏浚工程,富含N、P重金属及有机质的表层重污染底质层被直接去除,新露出的底质层各种污染物的含量大大降低,疏挖后水质及底质条件的改善使水体生态环境得到改善。

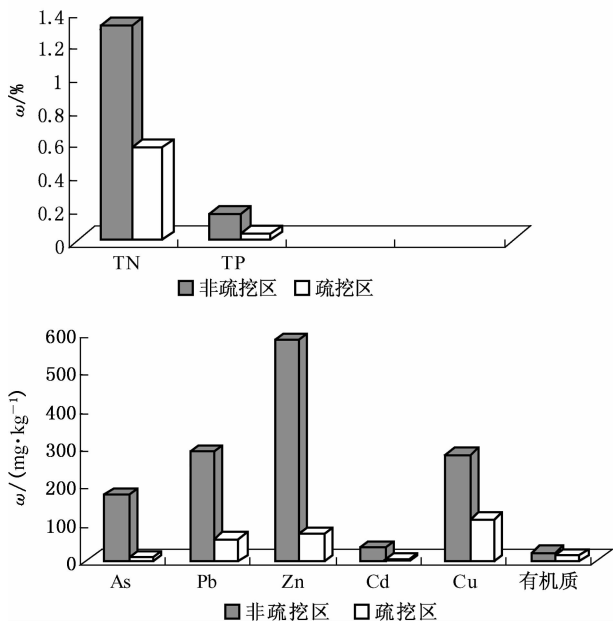


图2 草海疏浚区与非疏浚区底泥污染物浓度比较

4 疏浚工程实施后水体生态恢复趋势影响评估

4.1 沉水植物的恢复趋势分析

疏挖前草海沉水植物几乎完全绝灭,只有在东部水域分布有 10 ~ 20 hm² 的篦齿眼子菜,漂浮植物水葫芦成为草海绝对优势种,在草海的分布面积达到 6 km² 之多。底泥疏挖的同时捞除了草海的大部分水葫芦,其分布面积大大减少。疏挖前后草海沉水植物的调查结果表明,疏挖后不到半年,由于水质的改善,草海沉水植物开始逐渐恢复:沉水植物比疏挖前增加了 5 种,耐污种如红线草、狐尾藻等已成片出现。这种变化趋势表明,疏浚后疏挖区沉水植物向着种类增多、分布面积扩大、生物多样性提高的方向发展。虽然短期内沉水植物优势种仍以耐污种红线草为主,但随着水质的进一步好转,沉水植物将由耐污种向非耐污种方向逐步演替。

4.2 底栖生物恢复趋势分析

底栖生物生活在沉积物的表层,底泥的疏挖会对其群落产生破坏。根据疏浚不同时期的监测结果,疏挖前草海底栖动物主要以耐污染的寡毛类和摇蚊类为主(表 2),而不耐污、对水质和底质要求较高的螺类等软体动物则不能生存^[7];疏挖后的半年时间里,摇蚊幼虫数量不断减少,寡毛类数量也由原来的 144 个/m² 减为 22 个/m²,优势种由羽摇蚊变为水丝蚓。底栖动物变化的原因有二:一是底泥疏浚时随污染层的去除部分底栖生物被去除,二是疏挖后污染层的去除和生境条件的改善使耐污种对环境产生了不适应,故而数量减少。

表 2 疏挖工程前后草海底栖动物分布 个/m²

时期	底栖动物类别			优势种
	摇蚊幼虫	寡毛类	软体动物	
疏挖前	608	144	0	羽摇蚊
疏挖后	0	22	0	水丝蚓

5 疏挖后水质改善与生态恢复机理分析

草海底泥疏浚工程实施后疏挖区水体水质得到了一定的改善,各项指标都朝着好的方向发展;表层污染层直接被去除,露出较为清洁的底质层;生态环境的改善促使水体生态呈现恢复趋势。其生态恢复的主要机理探讨分析如下:

5.1 水质改善的机理

环保疏浚工程通过精确清除污染层底泥,去除了黑臭的内部污染源,使水体感观得到一定改善;同时,通过去除水体中的内源性污染物,底泥中的污染物浓度大幅度降低,相应地由底泥向水体中释放的污染物质也大幅度降低,以使得水体污染物指标下降和透明度上升;疏浚后新生界面层为较清洁的底泥层或具较强吸附能力的泥炭层,促使形成新的水泥间的平衡,有利于水体自净能力的提高^[8]。这就是滇池草海底泥疏浚一期工程实施一年后水质效果明显改善的原因。

5.2 底质改善的机理

环保疏浚需要疏挖的污染底泥层厚度是根据采样分析后精确计算出来的,同时在施工中有一套控制超挖的技术措施,以保证较准确地将污染层清除^[9, 10]。通过环保疏浚工程的实施,高含水率、呈流塑态的、以悬浮态的细颗粒泥为主的、高度厌氧的污染层底泥被较精确地去除,露出以粘粒和粉粒级泥粒为主的正常泥层,且水下地形地貌和水深条件都有一定改变^[11]。与疏浚前相比,新生层中的氮磷营养盐、重金属及有毒有机物含量比污染层要低得多,物理性状上具疏松和较致密的结构,且氧化还原电位比污染层大大提高。新生层的这些特性有利于水生植物的立地和生长,也为底栖生物如贝、螺类的生长提供良好的栖息环境。因此,草海底泥疏挖后使草海大型水生植物系统恢复成为可能。

5.3 水下光照条件改善的机理

水下光照条件的改善是草海沉水植物恢复最主要、最直接的原因,光射入湖水之后,随着水深的增加,光照强度呈负指数衰减。光照强度的衰减与水体透明度大小密切相关。水下光照强度变化规律可用比尔定律^[12]来表示:

$$I_t = I_0 e^{-at}$$

式中: I₀——水面下 1 cm 处光照强度, lx;

t ——水面下深度, cm; I_t —— t 深度处的光照强度 lx; a ——光照强度衰减系数(受 SD 影响)。

比尔定律表明, x 射光强度随水深的变化而变化, 在其变化过程中就可能达到沉水植物群落的昼夜光补偿点, (是指某个群落(多物种)在昼夜(白天有光照, 夜晚无光照)净产氧量为 0 时的光照强度), 据测定, 草海主要沉水植物群落的昼夜补偿点的平均值为 1 350 lx, 种群昼夜光补偿点的平均值为 750 lx。为了进一步分析草海光照强度对沉水植物生长的限制, 宋福等人进行了草海光补偿深度的研究, 草海沉水植物光补偿深度与水体透明度之间呈正相关关系, 可用公式表示为^[12]:

①草海沉水植物群落光补偿深度(y)和透明度(x)的关系式

$$y = 2.775x - 18 \quad n = 15; r = 0.791$$

②草海沉水植物种群光补偿深度(y)和透明度(x)的关系式

$$y = 3.293x - 21.557 \quad n = 15; r = 0.826$$

由式①和式②计算出草海沉水植物恢复对水体透明度的要求, 见表 3。

表 3 恢复沉水植物多样性对水体透明度的要求 cm

光补偿深度	100	200	300	400	500
恢复沉水植物种群所需达到的透明度	37 ± 1	67 ± 9	98 ± 18	128 ± 26	158 ± 35
恢复沉水植物群落水平所需达到的透明度	43 ± 2	79 ± 13	115 ± 23	151 ± 34	187 ± 44

疏挖前草海水体的平均透明度仅为 37 cm, 仅刚满足 1 m 水域外单物种沉水植物种群对光的需求, 尚不满足沉水植物群落对光的需求, 无法形成群落。因而实际水深大于沉水植物光补偿水深, 水下光照十分微弱是长期以来草海沉水植物不能生长的主要原因。草海一期疏浚工程实施后水质发生了明显好转, 草海水体平均透明度由原来的 0.37 m 提高到 0.80 m, 在外草海部分水域水体透明度甚至达到 1.0 ~ 1.5 m, 已超过沉水植物对水体透明度的要求, 见图 3。

6 结论

通过草海污染底泥疏浚一期工程的实施, 直接去除了内草海表层污染底泥层, 去除表层约为

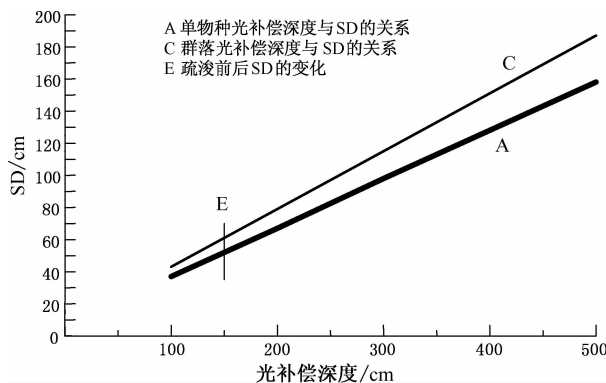


图 3 草海疏浚前后水体 SD 的变化及其与光补偿深度的关系

0.5 m 淤泥, 露出较为清洁的底泥层, 使水泥间形成新的平衡, 草海水质得到一定的改善, 各项主要水质指标 SD、TN、TP、BOD、COD_{Mn} 均优于疏浚前。表层污染层去除后, 新露出的底质层中各种污染物如 N、P 及重金属的含量比疏挖前大幅度降低, 物理性状上更有利于水生生物的恢复和生存。疏浚后生态环境的改善, 使沉水植物和底栖生物种类和生物量发生一定变化, 呈一定的恢复趋势。评估结果表明, 草海污染底泥环保疏浚工程实施后所产生的环境效益是明显的, 对草海水域生态环境的改善以及生态修复具有非常积极的作用。

【参考文献】

[1] 金相灿, 刘鸿亮. 中国湖泊富营养化[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 82-91.

[2] SAS H. Lake restoration by reduction of Nutrient loading: expectation, experience, and extrapolation[R]. St. Augustine: Academia Verlag, 1989.

[3] 金相灿, 荆一凤. 滇池草海污染底泥疏挖及处置一期工程可行性研究[R]. 中国环境科学研究院, 1997.

[4] 金相灿, 胡小贞. 滇池草海污染底泥疏挖及处置一期工程后评估[R]. 中国环境科学研究院, 1999.

[5] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊营养化调查规范[M]. 2版. 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 138-272.

[6] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991.

[7] 刘丽萍, 陈静. 底泥疏挖工程对草海生态环境的影响预测[J]. 云南环境科学, 1999, 18(1): 11-12.

[8] SEBETICH M J, FERRIERO N. Lake restoration by sediment dredging[J]. Verh Internat Verein Limnol., 1997, 26(2): 776-781.

[9] 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.

[10] 李进军. 污染底泥环保疏浚技术[J]. 中国港湾建设, 2005(6): 46-65.

[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.

[12] 宋福. 国家“八五”攻关研究报告——滇池草海水生植物恢复研究[R]. 中国环境科学研究院, 1990.