

论述与研究

上海曹扬环浜污染水体的生态修复

方涛¹, 王春树², 陈洪达³, 李敦海¹, 刘永定¹

(1. 中国科学院水生生物研究所, 湖北 武汉 430072; 2. 上海市水务管理局河道管理处, 上海 200002; 3. 武汉中科水生环境工程有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 曹扬环浜是一条环形封闭水道, 水质低于地表水 V 类标准, 水体处于严重超富营养化水平, 全浜暴发蓝藻水华现象。在采用截污、造流、生态恢复等生态工程措施综合治理后, 随着健康水生态系统的建立, 河浜水质逐步变好(由劣 V 类改善为接近 III 类标准), 水体透明见底, 沉水植物覆盖率达 70%~90%, 水体一直维持“清水草型稳态”。重点介绍了河道治理中采用的生态修复措施及其作用, 并从截污、营养盐、水生生物等方面分析了各项工程措施对抑制藻类生长、水质改善的影响, 对我国城市小型河道的综合治理有很好的借鉴作用。

关键词: 城市河道; 富营养化; 生态恢复

中图分类号: X505 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2005)10-0001-04

Ecological Restoration of Polluted Caoyang River Water in ShanghaiFANG Tao¹, WANG Chun-shu², CHEN Hong-da³, LI Dun-hai¹, LIU Yong-ding¹(1. *Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China*; 2. *River Management Department, Shanghai Water Authorities, Shanghai 200002, China*; 3. *Wuhan Zhongke Hydrobiology Environmental Engineering Co. Ltd., Wuhan 430071, China*)

Abstract: The Caoyang River is a loop-closed channel, and the water quality is inferior to the surface water V-grade standard. The water is in a super-eutrophication state with great occurrence of blue algal-bloom. After integrated treatment by taking ecological engineering measures, such as sewage interception, water flow control, and ecological restoration, and along with the setting up of the healthy hydro-ecological system, the river water quality is getting better and is improved from the poor V-grade to III-grade standard, with transparent water in the bottom; the coverage rate of submergiherbosa reaches 70%–90% and the river water has been kept at a “plant-dominated clear water stable states”. Key introduction is given to the ecological remedial measures and functions in river control, and the effect of all engineering measures on algal control and water quality improvement is analyzed from the aspects of sewage interception, nutrition, and hydrobiology, etc. It afforded a successful way in the control of small city-river in China.

Key words: city-river; eutrophication; ecological restoration

曹扬环浜是位于上海市普陀区曹扬新村的一条 环形封闭水道, 全长为 2 208 m, 宽为 8~14 m, 水深

为0.5~1.5 m,总水面为24 933 m²,蓄水量为(3.2~4.0) × 10⁴ m³。环浜南北水道间距较长(达880 m),东西水道间距较短(约480 m)。过去由于大量城市污水和垃圾注入的影响,环浜水体发黑发臭,沿途环境污浊不堪,是上海市有名的城中心臭水沟,周围居民深受其害。

20世纪80年代以来,当地政府组织对曹扬环浜实施了一系列综合整治工程,其中包括修筑钢筋混凝土、石驳岸,底泥疏浚(2次),架设过浜管道,截流入浜下水道污水,修建环浜沿途周围绿地和公园,构建水生动物、植物净化水质生态体系等。这些工程措施对减轻环浜水体污染、改善周围环境质量起到很大作用。尽管如此,环浜水体有机污染仍处于劣V类地表水质量水平,氮、磷营养物的污染处于严重超富营养化水平,全浜暴发蓝藻水华现象,其危害日趋严重。即使频繁采用自来水置换措施,仍未能遏制这种恶化势头。

为改善水质和控制蓝藻水华,某公司曾于2003年8月—9月采用化学法对河浜水进行原位处理,由于药剂使用不当,造成河浜鱼类、螺和水草大量死亡,水体pH值较低,水生态系统遭到破坏,一度被絮凝沉降去除的蓝藻水华,随后又再度发生。

1 治理措施

1.1 完善截污措施

因为环浜已基本解决点源污染问题,该措施主要解决入浜地表径流(面源)对浜水的污染。在无坎埂岸带和坎埂不完全岸带修建坎埂和补修坎埂,尽量减少地表径流和垃圾入浜量。

1.2 水体曝气充氧

为满足强化水体净化过程对氧的需求和构建高活性“泥水界面水质净化区”的需要,根据水体的具体情况,采用曝气机或曝气系统向水体强制充氧。

1.3 环浜造流

在环浜适宜断面修建一座高度适中的隔水坝,并设置低扬程、大流量水泵将隔水坝一侧的浜水连续抽排至另一侧,形成环浜重力循环流,促进水体表层相对富氧的水和底层相对缺氧水的均化与交换,提高水体曝气充氧效率与氧利用率,加速水体有机质的矿化速率,全面改善水质。

1.4 构建健康水生态系统

为提高水体的生物多样性和自净能力,降低水体富营养化程度,根据生态学原理而采用了生态系

统修复技术,以实现水体从“浊水藻型稳态”向“清水草型稳态”转换。

① 构建水生植被。种植沉水植物(菹草、黑藻、伊乐藻、金鱼藻、苦草等)和浮叶植物(睡莲),以吸收、转化水和底泥中的氮、磷、钾等营养物,降低水体氮、磷、钾及必需微量元素的含量与周转速率,抑制浮游植物生长;为各种水生生物提供良好的生境;提高水体生物多样性;提高水体自净能力;为水体供氧。

② 构建水生动物种群。适当提高鲢、螺、鲫的种群数量,以消费浮游生物(特别是浮游植物)、有机碎屑、腐碎、巨大的微生物量以及摇蚊和水蚯蚓等底栖动物,维护生态平衡,净化水体。

③ 种植水生花卉。作为城市河道,从景观的角度出发,在主要景点、桥的两侧,栽种了优质睡莲(选用玛珊姑娘、洛桑、日出、佛琴娜莉斯、大白睡莲等品种),加之原有的10多丛白睡莲,美化了水面。

④ 构建水草的收割及鱼、螺、蚌的捕捞与利用系统,以控制它们在河道水体中的生物量,并维持其种群的适度水平,由此从水体中去除大量氮、磷、有机质和微量营养元素。

1.5 机械除藻

为消除积聚于水面的蓝藻水华对环境的污染,设置移动式浮性藻类水华清除装置。其主要原理是借助风力或造流水流使浮性藻华积聚于设置在河床横断面上的“V”形拦藻浮栏内,然后用安装在“V”形浮栏尖端处的吸藻器,将积聚的藻华泵吸至过滤斜筛的“富藻水”分配槽内,并过滤去除藻华。

2 结果与讨论

2.1 水质的变化

实施该示范工程前,在2003年6月至11月中旬环浜水体出现蓝藻水华,于6月底至10月初持续暴发严重蓝藻水华,水体散发严重的藻腥臭。

根据2003年8月23日上海市水环境监测中心对曹扬环浜水质的检测结果,曹扬环浜水样中总氮、总磷、COD、COD_{Mn}、BOD₅等5项水质指标的实测值(分别为4.41、0.455、116、15.6、10.6 mg/L)均大大超过《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002) V类标准的相应指标值,属劣V类水质。

从2003年11月开始实施该示范工程后,环浜水质逐步变好,总磷、总氮、氨氮持续降低,至2004年2月后随着温度的升高,上述指标有所上升,但一

直介于Ⅲ类至Ⅳ类水体之间。

将 2004 年 8 月的数据与 2003 年同期相比,可以看出总磷、总氮、 COD_{Mn} 及 BOD_5 (分别为 0.08、1.5、5.8、1.4 mg/L) 均有很大程度的降低,而氨氮除 7、8 月较高外(分别为 0.88、1.2 mg/L),相邻的几个月均在 0.2 mg/L 以下。在示范工程实施期间,水体透明见底,一直维持着“清水草型稳态”而未出现“浊水藻型稳态”。

2.2 截污的作用

外源污染是水体营养盐的重要来源之一,截污是控制富营养化水体的首要步骤。随着点源污染物的排放逐步受到严格的控制,雨水径流污染和底泥污染将成为城市缓流水体污染的主体。虽然当地政府采取了一系列的措施对入浜污水进行了截流,但仍存在难以避免的周围污水渗入、雨天地表径流污水进入、沿途垃圾进入等面源污染;而且环浜地处人口密集的都市腹地,这些外源污染背景值高,对环浜构成严重的污染威胁。针对上述特点,在曹杨环浜无坎堰岸带和坎堰不完全岸带修建坎堰和补修坎堰,尽量减少了地表径流和垃圾入浜,也为实施水生态工程技术创造了先决条件。

2.3 营养盐的作用

就理论上讲,即使外源污染能完全截除,水中的营养盐依旧存在。实际上如降水、地表径流等外源污染也不可能彻底截除。尽管国内外对富营养化的研究通常都应用了利比希“最小因子定律”,寻找藻类生长的限制因子,并据此提出了控制氮、磷的一系列对策,但应该指出的是,该定律只有在严格的稳定状态下才能应用^[1]。而实际上失去了水生高等植物、以藻类为优势的水生态系统并不稳定,此外各种生态因子之间存在替代作用,即当一个特定因子处于最小状态时,其他处于高浓度或过量的因子可替代特定因子的不足^[2]。

曹扬公园内有一 2 000 m^2 左右的水池,除了少量的荷花外,没有其他大型水生植物生长。2004 年 7 月 15 日测定了水中的氮、磷、氨氮和叶绿素 a 含量,并同时测定了曹扬环浜水样,结果如图 1 所示。

由图 1 可见,曹扬环浜总磷、氨氮含量均超过了曹扬公园水池,总氮含量虽然较低,但也超过了理论上藻类生长的限制水平。而 7 月的曹扬公园水池内水华严重,叶绿素 a 高达 142 $\mu\text{g}/\text{L}$,相反曹扬环浜并未观察到水华,叶绿素 a 也仅有 1.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。

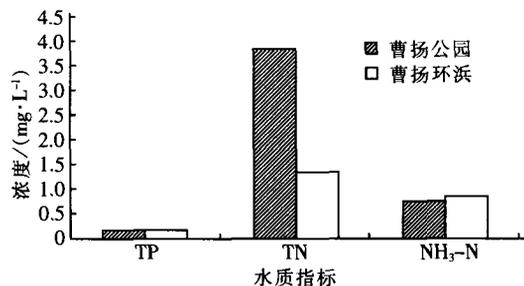


图 1 曹扬公园水池与曹扬环浜水质对比

Fig. 1 Water quality comparison between Caoyang River and Caoyang Park pond

事实上,富营养化水体中常见的一些藻类优势种(如微囊藻、鱼腥藻、束丝藻、颤藻、直链藻、隐藻等)对营养盐的耐受限度往往很宽,在特定的条件下常常形成特定的优势种,当营养盐浓度较高时优势种群快速扩增、集聚便成为“藻华”;由于物种间无时不发生的竞争关系,在营养盐较低而其他理化、生物因子的作用有利时,优势种也能生长繁殖,甚至也形成“藻华”^[2]。而城市河道由于长期接纳大量的生活污水,其营养浓度通常很高,即使截污后面源污染仍使其营养盐浓度维持在较高水平。单纯从削减营养盐角度出发,其代价相当大,更重要的是仍可能达不到预期的效果。因此,对富营养化河道的治理,应从生态系统整体出发,在控制外源污染的同时,构建以高等水生植物为主的生态系统,并维护其稳定状态。

2.4 水生植物的作用

水生高等植物具有生长快的特点,能大量吸收水体中的营养物质,为水中营养物质提供了输出的渠道;水生高等植物提高水体溶解氧,为其他物种提供或改善了生存条件;提高透明度,改善景观;同时水生植物对藻类具有克制效应,可以抑制藻类的生长,起到改善水质的作用;并且,水生植物还能为经济水生动物提供栖息、繁衍、索饵育肥的场所。利用水生生物的上述特性可以建立生态系统净化污水,国内外从 20 世纪 70 年代以来进行了广泛的研究,目前的研究热点之一是组建以不同生态类型的水生高等植物为优势种的人工复合生态系统,包括将耐寒性植物与喜温性植物组合、漂浮植物与沉水植物组合等模式^[3]。在国内,利用大型水生高等植物(特别是沉水植物)来治理富营养化藻型湖泊(水库)的方法引起了人们的重视,已经在滇池、太湖等地进行了实际应用研究,并取得了较好的效果,但应

用于城市河道治理中尚不多见。

从生态系统整体出发,根据不同植物的生长季节、特点,进行群落结构优化,在曹扬环浜种植了菹草、黑藻、伊乐藻、金鱼藻、苦草等沉水植物和浮叶植物睡莲,使水生植物覆盖率达到了 70%~90%。结果表明,利用水生植物控制“藻华”的发生较成功。

在实际应用中两点需要特别注意。一是必须根据不同植物的生长特点进行合理搭配,使水生植物的覆盖率始终维持在较高的水平。因为水体中的大型水生植物和藻类生长于同一生态空间,二者在光照、营养盐等方面存在着激烈的生态竞争,互相影响,互相制约。只有达到一定的覆盖率才能保证水生植物的竞争优势,从而抑止藻类的生长。2004 年 5 月采取刈割、拔除的方法清除了一部分菹草,开始种植伊乐藻等其他水生植物。由于水生植物覆盖率的下降及气温的上升,同时因为采取人工下水拔草的方法,扰动了底泥,使水中总磷含量上升,水中藻类数量开始急剧上升,叶绿素 a 从 5 月的 20 $\mu\text{g}/\text{L}$ 上升到 6 月的 55 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。直到 7 月水生植物覆盖率恢复到较高水平后,虽然水温高于 6 月,但叶绿素 a 仍下降到 1.1 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。二是在水生植物群落恢复后,必须应用生态系统稳定化管理技术进行维护管理。水生植物死亡后,其分解腐败过程将严重影响水质,必须进行收割管理。同时由于环浜水体封闭,输入浜内的物质与能量滞留浜内,缺乏有效的物质与能量耗散机制,导致系统正熵不断增加。而水生高等植物能大量吸收水体中 N、P 等营养物质,通过除草的方法可将输入浜内的物质与能量有效地输出。

2.5 水生动物的作用

从生态学角度看,受损水环境实质是水生生态系统结构和功能的退化,本质是生态元之间的链接断裂或弱化,使系统网络结构破碎、生态链断裂。生物多样性的丧失是水环境受损的关键和核心,其典型表现就是富营养化水体发生的蓝藻水华,因而受损水环境的修复途径需从保护和恢复生物多样性入手,引入植物和动物,尤其是一些关键物种,重建食物链结构。在富营养型水体中,除了利用水生植物进行治理外,可通过放养滤食性动物及螺蛳、蚌等底栖动物,一方面可以实现生产力的转换,一方面能控制水华的发生,同时这也是恢复和维护健康水生态系统所必需的。关于利用浮游动物摄食浮游藻类,研究表明,在实验室规模对控制藻类密度可以达到

很好的效果^[4];而事实上,水体天然条件、水生态系统演替的阶段特征和藻华优势种决定浮游动物的作用效果。近年来,利用鲢、鳙等滤食性鱼类对水华进行控制的方法引起了人们的重视^[5]。在曹扬环浜投放了鲢、螺、蚌等水生动物,起到了维护生态平衡,净化水体的作用。

3 结论

① 采用截污措施减少了外源污染物,为水体的生态修复创造了条件。

② 在外源污染不可能完全截除而同时存在内源污染的条件下,必须进行生态修复才能改善水质并能长期维持。

③ 生态修复的关键是构建良性健康的水生生态系统,主要包括水生植物、鱼类、底栖动物等的合理配置。只有当水生植物的覆盖率达到一定程度后,才能促使水生态系统从“浊水藻型稳态”向“清水草型稳态”转化。而在水生植物群落恢复后,必须应用生态系统稳定化管理技术进行维护管理,才能使系统维持“清水草型稳态”,达到有效改善并维持水质的目的。

致谢:本研究得到上海市水务局河道管理处、普陀区河道管理所的支持。

参考文献:

- [1] 孙儒泳. 动物生态学原理(第 2 版)[M]. 北京:北京师范大学出版社,1992.
- [2] 王国祥,濮培民. 若干人工调控措施对富营养化湖泊藻类种群的影响[J]. 环境科学,1999,20(2):71-74.
- [3] 谢雄飞,肖锦. 水体富营养化问题评述[J]. 四川环境,2000,19(2):22-25.
- [4] 石岩,张喜勤,付春艳,等. 浮游动物对净化湖泊富营养化的初步探讨[J]. 东北水利水电,1998,3:31-33.
- [5] Xie P, Liu J. Practical success of biomanipulation using filter-feeding fish to control cyanobacteria blooms: a synthesis of decades of research and application in a subtropical hypertrophic lake[J]. The Scientific World, 2001, 1:337-356.

作者简介:方涛(1971-), 男, 云南曲靖人, 博士、副研究员, 主要从事生态学、环境化学研究。

电话:(027)68780710

E-mail:fangt@ihb.ac.cn

收稿日期:2005-06-16