

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.06.007

淀山湖千墩浦河口生态浮床试验工程净化效果

高阳俊¹,阮仁良²,孙从军¹,曹 勇¹,陈小华¹

(1.上海市环境科学研究院,上海 200233;2.上海市水务局,上海 200050)

摘要 :在淀山湖千墩浦河口实施生态浮床试验工程,利用多种水生植物浮床系统净化水质。结果表明:浮床区 DO 质量浓度比千墩浦来水、浮床区进水分别提高 2.06、0.38 mg/L,透明度分别提高 8.1、7.4 cm;浮床区的 Chl-a 质量浓度年均值均小于 20 $\mu\text{g/L}$;浮床试验工程对千墩浦来水 TN、TP、COD、SS 的去除负荷分别为 14.9、0.90、58.3、64.4 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,对浮床区进水的去除负荷分别为 5.27、0.36、25.13、47.53 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。浮床系统有效改善了千墩浦来水水质和浮床外围水质。

关键词 :淀山湖;生态浮床;富营养化;TN;TP

中图分类号 :X524 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)06-0028-04

Research on purification effect of ecological floating bed experimental project in Qiandunpu estuary region in Dianshan Lake

GAO Yang-jun¹, RUAN Ren-liang², SUN Cong-jun¹, CAO Yong¹, CHEN Xiao-hua¹

(1. Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China; 2. Shanghai Water Authority, Shanghai 200050, China)

Abstract : An ecological floating bed experimental project was carried out in the Qiandunpu estuary region in Dianshan Lake to purify the water with varieties of ecological floating bed systems. The results show that the concentration of DO in the ecological floating bed region increased by 2.06 mg/L and 0.38 mg/L, and the water transparency increased by 8.1 cm and 7.4 cm, respectively, compared with those in the water intake area of the Qiandunpu River and the area where water enters the floating bed region. The annual average Chlorophyll a in the ecological floating bed region was less than 20 $\mu\text{g/L}$. After the ecological floating bed experimental project, the pollutant load removal rates of TN, TP, COD, and SS were 14.9, 0.90, 58.3, and 64.4 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ for the Qiandunpu River intake water, and 5.27, 0.36, 25.13, and 47.53 $\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ for the water flowing into the floating bed region, respectively. The ecological floating bed system has effectively improved the quality of the Qiandunpu River intake water and the water surrounding the floating bed.

Key words : Dianshan Lake; ecological floating bed; eutrophication; total nitrogen; total phosphorus

淀山湖是上海境内最大的天然淡水湖泊,也是黄浦江上游的重要水源保护区。湖泊横跨上海市青浦区和江苏省昆山市,总面积约 62 km^2 ,湖底平均高程为 0.44 m,平均水深为 2.16 m^[1]。湖底自然平坦,总体上没有较大的自然地形起伏,湖盆地理特征为硬底土质。近年来,由于上游来水水质恶化和环湖污水的排放,淀山湖水质不断下降,由过去的Ⅱ类下降到目前的Ⅳ、Ⅴ类^[2],且以淀湖北部的赵田湖和

湖东北水域为最容易发生水华的区域^[3]。

生态浮床技术因具有运行稳定、管理简便、不产生二次污染等优点,广泛应用于水生态修复治理中。为保护好上海的饮用水水源地,控制和改善淀山湖水环境,营造良性循环的水生态系统,上海市水务局于 2008 年 9 月正式启动了“淀山湖富营养化防治与生态修复试验项目”,淀山湖千墩浦河口区生态浮床试验工程就属于淀山湖富营养化防治与生态修复试

基金项目 :上海市科委科技攻关计划项目(08DZ1203106)
作者简介 :高阳俊(1976—),女,云南昭通人,高级工程师,博士,主要从事水生态修复和水污染治理研究。E-mail :yngjy@163.com

验项目之一 ,工程选址于淀山湖北部赵田湖区域。

笔者以淀山湖北部赵田湖区域实施的千墩浦入湖河口生态浮床试验工程为实例 ,对浮床工程净化效果进行分析总结 ,以期为开阔水域大规模浮床技术的推广运用提供技术支撑 ,也为淀湖水环境的生态修复提供有益的探索。

1 材料与方法

1.1 工程区域概况

生态浮床试验工程区域地处北纬 $31^{\circ}10'54'' \sim 31^{\circ}11'24''$,东经 $120^{\circ}53'18'' \sim 120^{\circ}58'54''$ 。受季风影响 ,工程区春夏两季盛行东南风 ,秋季以东到东北风为主 ,冬季转为西北风 ,7—11 月多发台风 ;区域范围内水深变化不大 ,约为 $1.0 \sim 2.5\text{ m}$;区内水体流速较小 ,变动范围为 $0 \sim 0.2\text{ m/s}$,航道区域水较深 ,水下地形相对复杂 ,此情况对工程区域流场分布影响较大 ,但基本能看出有水流从淀山湖方向进入工程区域。植被主要分布于千墩浦入湖口两岸浅水区及岸边陆地 ,以挺水植物、浮水植物和沉水植物为主 ,常见适生物种有芦苇、茭草、水花生、菹草、马来眼子菜。区域水体污染严重 ,超过地表水Ⅴ类标准 ,以氮磷污染为主。

考虑工程区水文、地形、水质影响 ,在接纳千墩浦入湖河道污水的同时又要避开千墩浦航道 ;千墩浦航道的东面为已建别墅区和游艇码头 ,因此试验工程区布设于千墩浦航道的西侧 ,接近千墩浦主航道 ,离岸 500 m ,具体位置如图 1 所示。

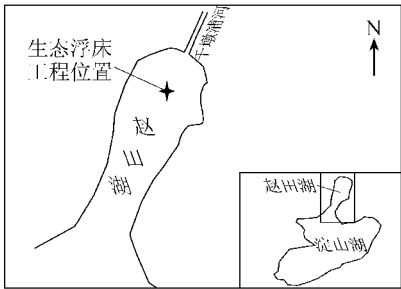


图 1 生态浮床工程区域位置

1.2 工程布局

工程区沿岸长为 200 m ,宽为 90 m ,总面积为 1.8 万 m^2 。试验工程区的内部与外部通过不透水围隔隔离 ,围隔上层缝合泡沫浮体 ,并用钢缆作上部拉绳 ,下层缝合石笼袋 ,防止内外水体的交换。该围隔既便于工程目标的考核 ,也能对风浪与船行波起到有效的削减作用。浮床体按照垂直水流方向布设 ,每组浮床单元之间设置一定的间隔 ,为 $2 \sim 4\text{ m}$ 。通过浮床单元独特的排列组合形式 ,防止浮床系统内部水体断流 ,确保良好的水质净化效果 ,也便于浮床

植物收获。浮床区共布设浮床 109 座。为了抗击风浪和船行波的干扰 ,在不透水围隔的外围 ,采用了“消浪排 + 防浪围隔”的双重防浪设计 ,消浪竹排为 W 形 ,相比一字形竹排 ,W 形能更好地抵御风浪冲击。工程布局如图 2 所示。

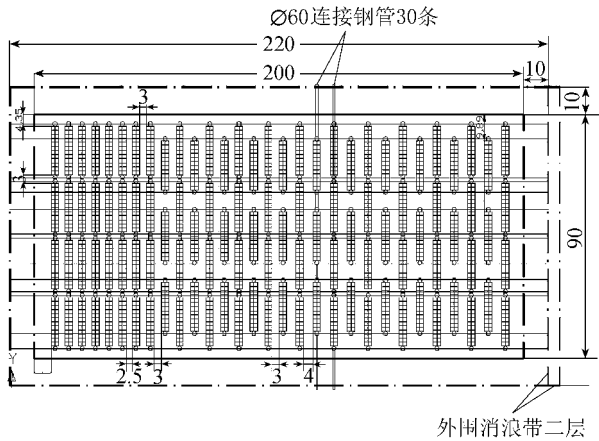


图 2 工程布局

1.3 浮床结构和种植植物

工程采用的浮床结构以“角钢 + 浮体”为主 ,上面种植植物。浮床单体为 $3\text{ m} \times 6\text{ m}$,每组浮床由 3 个单体组合而成 ,长 18 m ,宽 3 m 。单体之间以固定件连接 ,固定件方便实用 ,便于浮床单体的组装、拆卸并可回收再利用。工程完工后于 2009 年 5 月初种植植物 ,合计种植面积为 $5\,886\text{ m}^2$,种植的各植物种类和面积如表 1 所示 ,浮床覆盖率为 32.7% 。

表 1 试验工程的浮床植物种类和面积

品种	种植面积/ m^2	种植密度/(株 $\cdot\text{m}^{-2}$)	种植总量/株
再力花	1 269	16	20 304
千屈菜	1 838	18	33 084
黄菖蒲	965	16	15 440
美人蕉	1 220	16	19 520
聚 草	342	26	8 892
水 葱	144	35	5 040
水 芹	108	26	2 808

根据浮床管理维护要求 ,于 2009 年 11 月对工程区浮床植物水上部分进行收割 ,防止植物枯萎死亡残体对水体造成二次污染。次年 ,植物正常过冬转绿。整个浮床试验工程运行期间 ,对浮床的管理主要集中于防止淀山湖风浪对浮床系统的危害 ,防止鸟类对植物嫩芽的啄食、外来植物的入侵和病虫害的影响等。

1.4 采样分析

试验工程于 2009 年 4 月底建设完成 ,浮床植物自 2009 年 5 月初种植 ,并开始同步监测分析。监测点设置为千墩浦来水、浮床外围北侧、浮床区内北部、浮床区内中部、浮床区内南部。浮床区内北部、中部、南部的监测平均值表示为浮床区域的值。浮

床植物种植后经过 2 个月的适应性生长期。对 2009 年 7 月至 2010 年 3 月的数据进行分析,考察浮床工程的净化效果。监测指标为水温、DO、COD、TN、TP、SS、Chl-a、透明度等。测试方法为国标法^[4]。

2 结果与分析

2.1 水温变化情况

湖泊水温主要受太阳辐射和水蒸发量的影响。2009 年 5 月至 2010 年 3 月间,监测区域的最高水温为 34℃,最低水温为 6℃,平均水温为 21℃。水温的变化情况如图 3 所示。千墩浦来水、浮床区进水、浮床区域 3 个区域之间的水温无明显差异。水温随季节的变化明显,各区域的水温均为夏秋季节高于冬春季节。

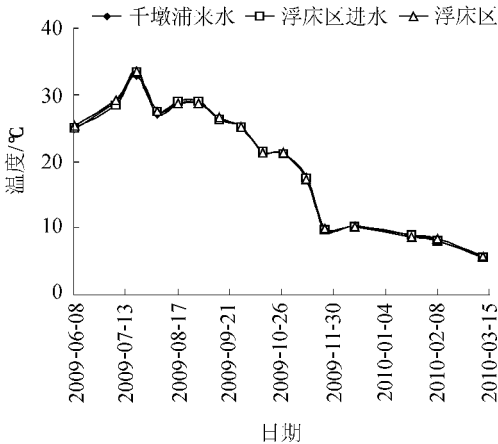


图 3 水温变化情况

2.2 DO 变化情况

水体中的 DO 主要来源于大气中的氧,常温下水体中 DO 的质量浓度约为 8~14 mg/L。当水体受到无机或有机污染后,其氧化分解的耗氧速度超过从空气中补充氧的速度时,水体中的 DO 将减少。本研究中 DO 变化情况如图 4(a)所示。千墩浦来水的 DO 质量浓度平均为 (5.35 ± 1.91) mg/L,千墩浦来

水进入淀山湖后,大气复氧面积增加,污染物浓度降低。浮床区进水的 DO 质量浓度为 (7.23 ± 2.21) mg/L,经过浮床试验工程的作用,浮床区域的 DO 质量浓度为 (7.63 ± 1.88) mg/L。DO 的变化部分受到水温的影响,水温高,水中的 DO 减少,总饱和度降低。

2.3 透明度变化情况

Kirk^[5]指出,透明度主要受限于非生物悬浮颗粒、浮游植物、溶解性有机物和纯水。监测期间,透明度的变化情况如图 4(b)所示,千墩浦来水的透明度平均为 (43.6 ± 9.6) cm,浮床区进水的透明度平均为 (44.4 ± 10.3) cm,浮床区域的透明度平均为 (51.8 ± 14.7) cm。浮床区域对千墩浦来水和浮床进水的改善效果明显。各区域的透明度均在夏季最低,冬季最高,季节变化明显。夏季气温高,浮游植物大量繁殖,同时 7—8 月份,上海市进入台风季节,淀山湖上风力增强,而且多南风、东南风,对湖区扰动较大,导致泥沙悬浮,透明度降低。

2.4 Chl-a 的变化情况

Chl-a 是藻类的重要组成成分之一,水体 Chl-a 含量的高低与水体中藻类的种类、数量等密切相关。监测期间千墩浦来水、浮床区进水和浮床区域的 Chl-a 变化情况如图 4(c)所示。截至到 2010 年 3 月份,千墩浦来水、浮床区进水和浮床区的 Chl-a 质量浓度均值小于 20 μg/L,浮床区域对千墩浦来水、浮床进水的改善效果不明显,可能的原因是各区域 Chl-a 值均较低。在周宏^[6]对杭州西湖中的 Chl-a 研究中,杭州西湖中北里湖中的 Chl-a 质量浓度为 110 μg/L,岳湖为 83.7 μg/L,外湖为 82.0 μg/L,西里湖为 78.3 μg/L,小南湖为 20.5 μg/L;在陈永川等^[7]对滇池水体 Chl-a 研究中,滇池水体中 Chl-a 平均质量浓度为 12.33~39.28 mg/L。与其他富营养化严重的湖泊相比,千墩浦生态浮床工程试验区的 Chl-a 还处于相对较好的水平,没有出现大面积藻类疯长的

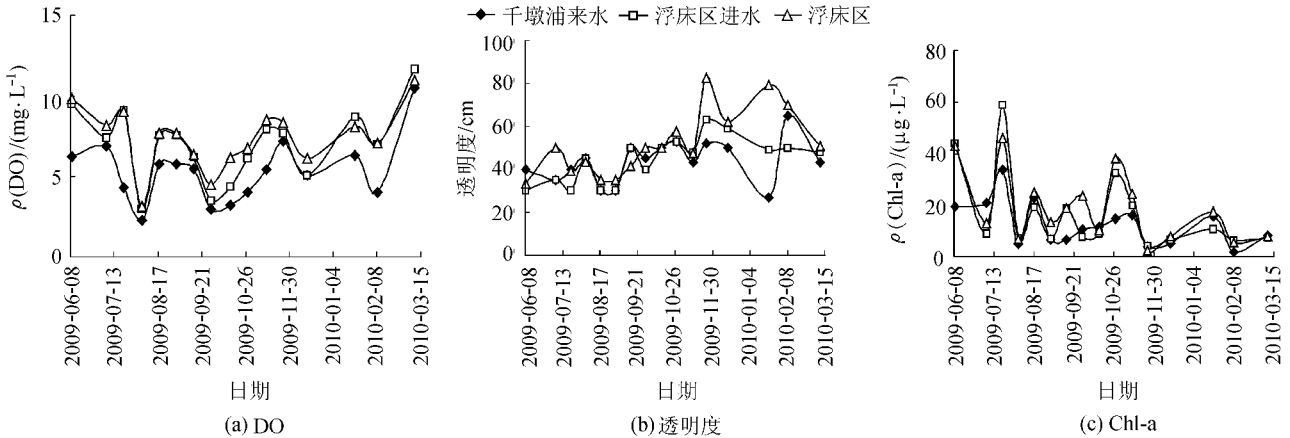


图 4 DO、透明度及 Chl-a 变化情况

情况。将各区域的 Chl-a 按照季节变化进行统计，得出总的变化趋势为夏秋季节高，冬春季节低。

2.5 TN、TP、COD、SS 等的浓度变化和去除情况

千墩浦来水 TN、TP、COD、SS 质量浓度分别为 $(5.94 \pm 2.80) \text{mg/L}$ 、 $(0.43 \pm 0.14) \text{mg/L}$ 、 $(21.38 \pm 9.14) \text{mg/L}$ 、 $(27.11 \pm 10.36) \text{mg/L}$ ，浮床区进水的 TN、TP、COD、SS 分别为 $(5.05 \pm 2.26) \text{mg/L}$ 、 $(0.40 \pm 0.09) \text{mg/L}$ 、 $(18.30 \pm 5.79) \text{mg/L}$ 、 $(25.55 \pm 12.09) \text{mg/L}$ ，浮床区水质的 TN、TP、COD、SS 分别为 $(4.57 \pm 2.34) \text{mg/L}$ 、 $(0.36 \pm 0.09) \text{mg/L}$ 、 $(15.97 \pm 5.81) \text{mg/L}$ 、 $(21.15 \pm 8.62) \text{mg/L}$ 。由图 5 可见，TN、TP、COD、SS 平均质量浓度表现为千墩浦来水 > 浮床区进水 > 浮床区。

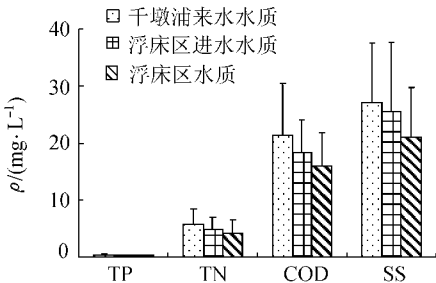


图 5 TN、TP、COD、SS 质量浓度变化情况

监测期间，浮床系统运行良好。浮床试验工程对千墩浦来水、浮床区进水均有较好的净化效果(图 6)。浮床系统通过浮床植物对营养物质的吸收作用、浮床植物根系上附着的微生物对污染物的降解作用、浮床植物根系对悬浮物的截留拦截作用、植物的抑藻作用等达到对污染物的去除。本工程对千墩浦来水 TN、TP、COD、SS 的平均去除率为 23.2%、18.8%、25.3%、22.0%，对浮床区进水的 TN、TP、COD、SS 的平均去除率为 9.7%、8.4%、12.7%、17.2%。

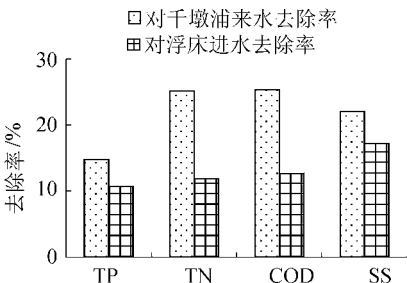


图 6 TN、TP、COD、SS 去除情况

2.6 污染负荷去除情况

按照千墩浦区域水体平均流速 0.01 m/s 、平均水深 2.5 m 计算通过浮床工程区的流量，根据千墩浦来水、浮床区进水、浮床区域的平均浓度，计算浮床试验工程对各污染物的去除负荷，具体见表 2。与李海英等^[8]对 6000 m^2 的封闭式的生态浮床试验

工程研究相比，其浮床系统的进水量为 $6400 \text{ m}^3/\text{d}$ ，TN、TP、COD 的去除负荷为分别 11.22 、 0.77 、 $9.60 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 本项目中的生态浮床试验工程面积大，达到了 1.8 万 m^2 ，且为半封闭的围隔系统，对于千墩浦来水的 TN、TP、COD、SS 的去除负荷分别为 14.9 、 0.90 、 58.3 、 $64.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，对于浮床进水的去除负荷也分别达到了 5.27 、 0.36 、 25.13 、 $47.53 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

表 2 污染物去除负荷

水体	去除负荷/($\text{g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$)			
	TN	TP	COD	SS
千墩浦来水	14.9	0.9	58.3	64.4
浮床进水	5.3	0.4	25.1	47.5

3 结 论

a. 本工程实施后，浮床区 DO、透明度相对于千墩浦来水和浮床区进水有明显的改善，DO 质量浓度分别比千墩浦来水、浮床进水提高了 2.06 mg/L 、 0.38 mg/L ，透明度分别增加了 8.1 cm 、 7.4 cm 。千墩浦来水、浮床区进水和浮床区的 Chl-a 质量浓度年均值小于 $20 \mu\text{g/L}$ ，浮床区对 Chl-a 的改善效果不明显，但总的季节变化趋势为夏秋季节高、冬春季节低。

b. 淀山湖河口区域的生态浮床试验工程对千墩浦来水和浮床外围水质净化效果良好。对于千墩浦来水的 TN、TP、COD、SS 的去除负荷分别为 14.9 、 0.90 、 58.3 、 $64.4 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ，对于浮床进水的去除负荷也分别达到了 5.27 、 0.36 、 25.13 、 $47.53 \text{ g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

参考文献：

[1] 阮仁良,王云. 淀山水体环境质量评价及污染防治研究[J]. 湖泊科学,1993,5(2):153-158.

[2] 郑晓红,汪琴. 淀山水质状况及富营养评价[J]. 环境监测管理与技术,2009,21(2):68-70.

[3] 谢欢. 基于遥感的水质监测与时空分析[M]. 上海: 同济大学出版社,2006.

[4] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社,2002.

[5] KIRK J T O. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems [J]. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press,1994.

[6] 周宏. 杭州西湖水体中 Chl-a 含量与水质的关系[J]. 浙江大学学报 理学版,2001,28(4):439-442.

[7] 陈永川,汤利,张德刚,等. 滇池 Chl-a 的时空变化及水体磷对藻类生长的影响[J]. 农业环境科学学报,2008,27(4):1555-1560.

[8] 李海英,李文朝,冯慕华,等. 微曝气生态浮床水芹吸收 N、P 的特性及其对系统去除 NP 贡献的研究[J]. 农业环境科学学报,2009,28(9):1908-1913.

(收稿日期 2010-10-20 编辑 徐 娟)