

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyh.2020.10.059

南通紫琅湖水生态系统构建设计探讨

林敏¹, 刘鑫², 叶爱民²

(1.南通市市级政府投资项目建设中心, 江苏南通 226019; 2.上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092)

摘要:紫琅湖是新建城市人工湖泊。健康水域生态系统的构建是实现区域水系生态环境提升的关键。现以修复紫琅湖生态系统结构和功能为重点, 通过生态环境塑造、水生生物构建等工程措施, 引导紫琅湖水生态系统逐步实现由人为设计到自然演替的良性循环, 形成具有一定自我修复能力的水生态系统。其成果对于后期紫琅湖水生态环境的构建具有指导意义。

关键词:紫琅湖; 生态系统; 设计

中图分类号: K928.43, X32013

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2020)10-0215-03

0 引言

人工湖普遍存在物种生态序列不甚完整、生态系统生态抗逆性低的问题, 致使湖体水质恶化的情况时有发生^[1]。在人工湖构建初期, 合理选择、科学搭配物种, 形成以结构基础的具备正常物质循环和能量流动的水生态系统, 以增强生态系统的生态抗逆性和自我净化能力, 促进人工湖水水质净化、景观提升等生态系统服务功能的发挥^[2]。

基于控源截污, 以水域生态学原理为理论指导, 以修复生态系统结构和功能为重点, 通过湖泊形态优化、生境塑造、水生生物构建和系统结构优化等多元耦合措施, 构建近自然人工湖生态系统, 引导紫琅湖生态系统逐步实现由人为设计到自然演替的良性循环, 促使生态系统结构和功能趋于平衡, 以期为人工湖生态系统的设计提供参考。

1 紫琅湖概况

紫琅湖属于新挖掘城市人工湖, 是南通市中央创新区“一湖七横三纵”水系的核心节点。恢复良性循环的湖区水生态系统是南通市中央创新区水系“防洪除涝达标、水系引排通畅、河湖生态健康、涉水景观优美”总体目标实现的关键。

基于娱乐、游憩、生态等紫琅湖功能需求, 湖区划分为深水区、过渡区、浅水区(见表1所列)。

依据水生生物的生长特性, 对浅水区进一步细化湖滨缓冲区(0~0.6 m)、近岸净水区(0.6~1.5 m)、远岸调控区(1.5~2.5 m)三部分组成, 详见图1所示。

收稿日期: 2020-04-17

作者简介: 林敏(1989—), 男, 硕士, 工程师, 从事工程项目建设技术管理工作。

表1 紫琅湖水深布局一览表

| 类别 | 水深/m | 面积/hm ² | 占比 |
|-----|---------|--------------------|--------|
| 深水区 | >3.0 | 20.56 | 23.06% |
| 过渡区 | 2.0~3.0 | 42.69 | 47.89% |
| 浅水区 | <2.0 | 25.89 | 29.05% |

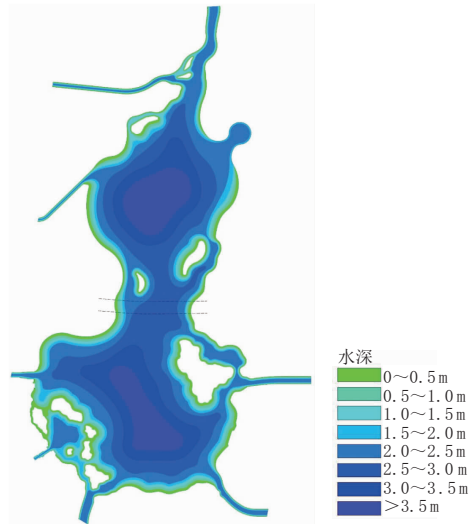


图1 紫琅湖形态图

紫琅湖初期水源引自通吕运河, 经通甲河汇入创新区水系, 以自流方式注入紫琅湖。通甲河水体富营养化明显, 主要污染物是总氮(TN)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})。其中, TN、TP均超出地表水V类标准。湖体蓄水后, 因缺乏必要的自然净化系统, 氮磷等污染物累积效应明显, 极利于藻类生长繁殖, 势必会影响到后期水生系统的构建。

2 生态修复工程

2.1 生境改善工程

2.1.1 基底适生性改良

水下基底为水生生物提供必要的栖息场所。基

底性质可直接影响到湖泊生态系统的恢复。该工程是基于湖体主体挖掘工程完成后,对新湖底进行适生性改良,主要包括翻耕、病原体消杀、覆沙等,工程实施面积为 89.14 hm²。

2.1.2 光补偿点优化工程

湖区水环境改善的首要目标是提升水体透明度,水下光照是决定沉水植物生长和分布的关键因素,亦是制约沉水植被恢复的关键因子。针对湖体蓄水初期可能出现的高营养盐、低透明度和藻类疯涨等状况,采用临时性辅助手段提升水下光照条件。第一阶段应用物理技术降低水体磷的含量,工期 7~14 d;第二阶段采用生物技术手段从降低营养盐浓度、提高水体透明度方面强化改善生境的力度。

2.2 水生态系统优化工程

2.2.1 水生植物群落恢复

根据湖相生态系列随空间生境梯度的变化特征,从营养盐适应性、生命史衔接配套、水质改善效果及景观等出发,合理配置群落,以保障水生植物时空紧密衔接,促使水生植物群落净化水体不受到时节的限制。

水生植物恢复以浅水区为主,沿水深梯度变化,依次恢复挺水植物-浮叶植物/沉水植物-沉水植物的生态序列(见图 2 所示)。

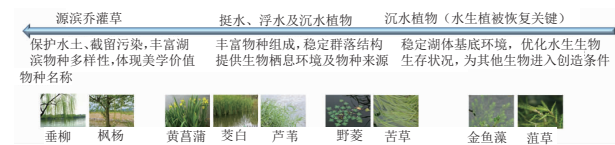


图 2 紫琅湖水生植被恢复序列示意图

2.2.1.1 湖滨缓冲区

通过生态自然驳岸、生态岛营造及花色植物引入等多种手段营造出滨水观赏区、湿地体验区和亲水休闲区。采用规整式、群落式布置相结合的种植模式,营造以水质净化、生态景观为主题的环湖面源污染拦截带,降低入河污染负荷,净化水质,营造紫琅湖环湖生态景观体验带(见图 3 所示)。

2.2.1.2 近岸净水区

近岸净水区易受风浪影响,水动力扰动频繁。结合水生植物的生长特性,该区水生植被以沉水植物为主、浮叶植物为辅,强化水生植被对底质扰动的抑制作用,改善水质。常绿矮生耐寒苦草以模块形式引入,具有植物群落成形快、景观效果佳、抗风浪能力强和水质净化能力强等优势;浮叶植物选用具有较强物理抗性的菱、荇菜,点缀式引入。

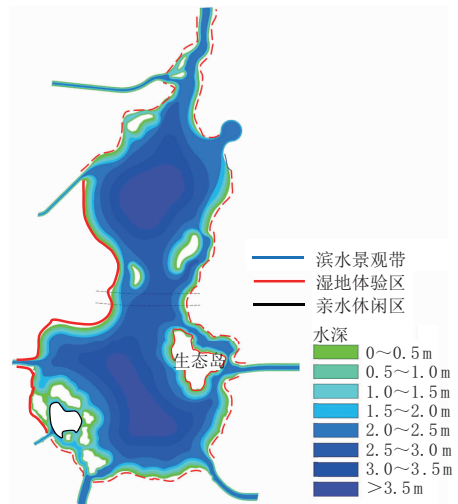


图 3 湖滨缓冲区空间布局图

2.2.1.3 远岸调控区

远岸调控区 1.5~2.0 m 范围内,以沉水植物恢复为主,部分水域种植浮叶植物,点缀状种植。该水域主要选择刺苦草、马来眼子菜、篦齿眼子菜、伊乐藻、微齿眼子菜;浮叶植物以睡莲、菱和荇菜为主。沉水植物主要采取降水扦插的方式进行种植,浮叶植物点缀状种植。

2.2.2 水生动物群落恢复

紫琅湖蓄水初期,营养盐累积明显,生态系统较为脆弱。利用底栖动物水质净化、鱼类群落下行调控的生态效应,改善湖体水质并控制藻类生长,有效延长湖体生态系统食物链,利于生态系统恢复稳定,实现水环境的防治结合。

2.2.2.1 螺类

铜锈环棱螺广泛分布于长江中下游湖泊,属于优势种。铜锈环棱螺能有效提高水体透明度,其絮凝作用可大幅降低水体中总磷水平^[3, 4]。调研长江中下游湖泊发现,武汉东湖、长荡湖、东太湖草型湖区铜锈环棱螺的年均密度是 58.09~2.2 ind./m²,相应平均生物量是 61.6~142.8 g/m²^[5, 6]。结合紫琅湖的实际需求,铜锈环棱螺的建议投放密度是 60 ind./m²,总投放量约为 80 t。

2.2.2.2 双壳蚌类

双壳蚌的滤食、生物沉降效应,可有效改善水体光照条件^[7, 8],促进水体营养盐的循环,为水生植被创造良好生境条件^[9]。目前,国内已有利用背角无齿蚌和褶纹冠蚌等淡水双壳类来开展富营养化水体环境治理和生态修复的案例^[10, 11]。蚌的个体大小以 50~100 g 最佳,具有滤水速率快、营养物质同化率高、生长最快和成活率较高的特点。背角无齿蚌、三角帆蚌等量投放,规格均为 50 g/ind.,投放密度为 2 ind./m²,总投放量约为 29 t。

2.2.2.3 鱼类

调研太湖和巢湖发现,受人工干预较小时,湖区肉食性、滤食性、杂食性和草食性常见鱼类的占比分别为34.2%~57%、10%~38.3%、8%~18.2%和2.8%~4.1%^[12]。综合考虑紫琅湖草型生态系统恢复、鱼类控藻及鱼类排泄物等多重因素,蓄水初期少量投放肉食性、滤食性鱼类,投放比例为4:1。紫琅湖常水位库容约为 $2.0 \times 10^6 \text{ m}^3$,鱼类投放密度为 20 g/m^3 ,投放总量是40 t,详见表2所列。

表2 紫琅湖鱼类投放密度及投放量一览表

| 食性 | 鱼类 | 放养密度 ($\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$) | 放养比例 /% | 放养总量 /t |
|-----|----|--|---------|---------|
| 滤食性 | 鲢鱼 | 1.6 | 8 | 3.2 |
| | 鳙鱼 | 2.4 | 12 | 4.8 |
| 肉食性 | 湖鲚 | 1.6 | 8 | 3.2 |
| | 鲈鱼 | 1.6 | 8 | 3.2 |
| | 鳊鱼 | 6.4 | 32 | 12.8 |
| | 乌鳢 | 6.4 | 32 | 12.8 |
| | | | | |

待水生植物系统稳定后,再投放鱼类,分批进行,由少及多。在紫琅湖水生态系统稳定后,应对系统进行监控,调查鱼类的发育情况,并根据具体情况做出相应的调整,保持合理的鱼类种群结构。

2.2.3 系统群落结构优化

采用人工控制和生物控制相结合的技术措施体系,扩大苦草、菹齿眼子菜、微齿眼子菜等先锋植物的优势度、覆盖率和分布面积,在2~3 a内使目标植物成为稳定的优势种。通过连续监测,掌握系统中各个要素的变化规律,优化水生高等植物群落结构和食物网结构,最终建立稳定的清水态湖泊生态系统。

3 效益分析

通过生境改善、水生植物构建、水生动物放养等措施,构建紫琅湖具有较好污染净化能力的生态系统。适生水深范围内,紫琅湖挺水植物、浮叶植物和沉水植物的种植面积分别为 $11\ 875 \text{ m}^2$ 、 $3\ 335 \text{ m}^2$ 和 $289\ 210 \text{ m}^2$,相应的覆盖率分别为19.1%、5.4%和60%。

目前,污染去除量的估算主要是通过水生植物的同化量来衡量的^[13],第二营养级的同化来源较为复杂,因此水生动物及微生物的净化作用暂

不考虑,实际的净化能力可能比估算值略大。

$$Pa = \sum_{n=1}^n [W_{fw} \times (1-r) \times \omega \times S_i]$$

式中, W_{fw} 为单位面积内水生植物的湿重; r 为单位质量(f_w)湿地植物的含水率; ω 为单位质量植物体内污染物的积累量; S_i 为某种水生植物栽培面积。

经核算,紫琅湖水生植物的TN、TP污染物去除量分别是9.14 t/a和3.63 t/a(见表3所列)。对湖区年污染负荷核算发现,近期(2020年)TN、TP的需削减量分别是16.8 t/a和2.78 t/a,远期(2030年)则是0.00 t/a和0.24 t/a。在氮不参与评价的情况下,紫琅湖去污能力大于系统污染负荷,满足水质目标要求,能稳定维持水体的水质及水景。

表3 水生植物种植面积及去污量估算一览表

| 序号 | 种类 | 种植面积 /hm ² | 去除量 /kg | |
|----|--------|--------------------------|---------|---------|
| | | | TN | TP |
| 1 | 千屈菜 | 0.11 | 36.9 | 4.6 |
| 2 | 芦苇 | 0.79 | 43.9 | 6.6 |
| 3 | 常绿鸢尾 | 0.14 | 54.7 | 5.8 |
| 4 | 黄菖蒲 | 0.13 | 33.5 | 2 |
| 5 | 西伯利亚鸢尾 | 0.13 | 19.8 | 1.1 |
| 6 | 花昌蒲 | 0.13 | 13.8 | 0.8 |
| 7 | 荷花 | 0.16 | 17.6 | 1.1 |
| 8 | 水生美人蕉 | 0.14 | 26 | 3.7 |
| 9 | 再力花 | 0.06 | 12.1 | 0.7 |
| 10 | 风车草 | 0.07 | 8 | 0.8 |
| 11 | 矮蒲苇 | 0.05 | 36 | 4.3 |
| 12 | 睡莲 | 0.32 | 28.4 | 1.8 |
| 13 | 矮生耐寒苦草 | 3.73 | 1 385.1 | 1 077.3 |
| 14 | 刺苦草 | 11.09 | 2 050.2 | 1 815.9 |
| 15 | 菹齿眼子菜 | 5.04 | 2073 | 118.9 |
| 18 | 金鱼藻 | 1.01 | 356.8 | 282.8 |
| 17 | 伊乐藻 | 2.02 | 897.9 | 84 |
| 16 | 马来眼子菜 | 4.03 | 1592.3 | 117.6 |
| 19 | 微齿眼子菜 | 2.02 | 450.4 | 100.2 |

蓄水初期N超标可能会导致紫琅湖水质反复,近期应从强化补水水源前置处理、环湖生态缓冲带及海绵城市建设等方面着手,强化水源净化及面源污染削减,以降低紫琅湖的污染负荷,促进紫琅湖水生态系统的建立及改善。

4 结语

城市人工湖属于复合型系统,即以人工技术
(下转第221页)

4 结论

本文通过对上海地区 0~30 m 地层的淤泥质土、黏土、粉质黏土等 60 个土样进行 76-10 mm 和 76 g-17 mm 液限试验数据分析,利用 Excel 建立两者相关性的一元二次回归模型及经验换算公式,表明 10 mm 液限和 17 mm 液限具有良好的相关性,成果具有一定的参考价值。但由于土样数量有限,回归模型有待进一步提高。

由于液限测定标准的不同,与其相应的液限、塑性指数、液性指数也具有明显差异性,从而影响土类定名和状态描述。在上海地区,相较于 76g-17 mm 液限,76g-10 mm 液限在岩土工程勘察、铁路工程地质勘察等方面使用范围更为广泛,

并积累了大量工程检测资料。因此,当选择液限定方法时,应在遵守国家标准的基础上,参考地方标准规范,充分结合地方的丰富资料和宝贵经验,进行合理选择。

参考文献:

- [1] GB/T 50123—2019,土工试验方法标准[S].
- [2] JTG E40—2007,公路土工试验规程[S].
- [3] 翁奕,林荃,区少凤.不同标准下液限试验中一些问题的探讨[J].水运工程.2013(7):100-103.
- [4] 庄宇,王静.对比分析不同规范下粘性土的液塑限测定方法[J].山西建筑.2010,36(10):78-79.
- [5] Hawkar Hashim Ibrahim,Krikar M-Gharrib Noori. Determining Casagrande Liquid Limit Values from Cone Penetration Test Data[J]. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences,2019,31(s3):114-120.

~~~~~  
(上接第 217 页)

和社会行为为主导、以自然生命保障系统为依托、以生态过程为命脉的人工生态系统。健康的湖泊依赖于结构完整、功能完善的水生态系统,通过生态系统正负反馈机制的平衡来维持或促进湖泊的健康发展。人工湖生态系统的结构、功能恢复,须统筹水系内部、外部环境的综合改善,否则很难成功。南通紫琅湖水生态系统构建设计,以控源截污、湖体形态优化及水力调控为前提,合理配置生态系统生物群落结构,以激发生态系统的自我恢复功能,形成具有自我修复、自我净化能力的城市湖泊水生态系统。结合海绵城市建设、生态景观打造及亲水休闲设施等手段,打造城市生态绿心,促进城市的和谐发展。

### 参考文献:

- [1] 张智,张智,杨冬雪,等.某人工湖成库初期水环境特征研究[J].环境工程学报,2010(6):123-128.
- [2] 李英杰,许秋瑾,金相灿,等.湖泊水生植被恢复物种选择及群落配置分析[J].环境污染治理技术与设备,2004,5(8):23-26.
- [3] 张爱菊,宓国强,练青平,等.不同密度铜锈环棱螺对不同水体指标影响效果的研究[J].浙江海洋学院学报(自然科学版),2011(3):29-35.

- [4] 陈宗永.草型生态系统构建技术在南湖富营养化防治中的应用[J].水生生态学杂志,2019,2:35-40.
- [5] 龚志军,李艳玲,谢平.武汉东湖铜锈环棱螺的种群动态及次级生产力[J].湖泊科学,2009,21(3):401-407.
- [6] 蔡永久,刘劲松,戴小琳,等.长荡湖大型底栖动物群落结构及水质生物学评价[J].生态学杂志,2014,33(5):1224-1232.
- [7] 杨东妹,陈宇炜,刘正文,等.背角无齿蚌滤食对营养盐和浮游藻类结构影响的模拟[J].湖泊科学,2008,20(2):228-234.
- [8] 魏小飞,关保华,刘正文.背角无齿蚌对水体净化作用的研究[J].生态科学,2016,35(1):56-60.
- [9] 徐海军.淡水贝类作为水域环境的生态修复工具种的可行性研究[D].苏苏州:州大学,2010.
- [10] 孟顺龙,陈家长,胡庚东,等.滤食性动物放流对西五里湖的生态修复作用初探[J].中国农学通报,2009,25(16):225-230.
- [11] 吴中奎,邱小常,张修峰,等.富营养化浅水湖泊生态修复中背角无齿蚌(*Anodonta woodiana*)对水质改善的影响[J].湖泊科学,2018,30(6):1610-1615.
- [12] 高学平,杨蕊,张晨.人工湖水生态系统构建方法研究[J].环境工程学报,2016,10(2):444-450.
- [13] 苏云华,杨桐.秋季湿地植物收割对氮、磷污染物去除能力影响浅析—以罗时江湿地为例[J].环境科学导刊,2018,181(4):34-37.