

上海市环境科学学会

关于《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南（征求意见稿）》团体标准公开征求意见的函

各相关单位：

由上海市环境科学学会组织编制的团体标准《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南》已形成征求意见稿。按照《上海市环境科学学会团体标准管理办法》的有关要求，现公开征求意见。请于**2022年12月28日**前将《征求意见回复表》反馈至上海市环境科学学会。

联系人：戚芳方

电 话：021-64756391

邮 箱：shsseshjc@126.com

附件：1.征求意见稿文本

2.编制说明

3.征求意见回复表



团 体 标 准

T/SSESB X-XXXX

城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南

Guidelines for the Ecosystem Construction and Ecological Restoration of
Urban Lake

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

上海市环境科学学会 发布

目 次

前 言.....	III
1 总则.....	1
1.1 适用范围.....	1
1.2 规范性引用文件.....	1
1.3 术语和定义.....	2
2 水生态环境调查.....	4
2.1 概述.....	4
2.2 基础信息调查.....	4
2.3 污染源调查.....	5
2.4 水环境特征调查.....	5
2.5 底质沉积物调查.....	6
2.6 水生态调查.....	6
2.7 湖滨带调查.....	7
3 城镇湖泊富营养化评价及分析.....	7
3.1 富营养化程度评价方法.....	7
3.2 城镇湖泊生态健康评价.....	10
4 水生态系统修复方案设计.....	10
4.1 设计目标.....	10
4.2 设计原则.....	11
4.3 污染源控制.....	11
4.4 高内稳水生态系统修复.....	13
4.5 生态补水、水动力循环.....	17
4.6 增氧曝气.....	18
4.7 驳岸.....	19
4.8 生境营造.....	21
4.9 生态平衡调节.....	21
4.10 重要水生生物栖息地与生物多样性保护.....	21
4.11 生态系统构建与生态修复后健康评价.....	22
5 水生态系统修复实施方法.....	23
5.1 原则.....	23
5.2 实施细则.....	24
5.3 污染源控制施工方法.....	24
5.4 鱼类初期调控方法.....	25

5.5	水生维管束植物群落构建方法	26
5.6	藻类控制方法	29
5.7	水体透明度提升方法	30
5.8	水生动物群落结构优化方法	30
5.9	水质生态净化方法	30
5.10	水生态系统调试	30
5.11	水质监测实施方法	31
5.12	实施期间巡视方法	32
6	城镇湖泊水生态健康评价方法	32
6.1	水环境评价	32
6.2	生境评价	33
6.3	生物评价	33
6.4	水生态环境质量综合评价	35
6.5	城镇湖泊生态健康评价	36
附录 A	术语解释及补充	39
附录 B	水生态系统修复设计常用表格	40
附录 C	水生态系统健康评价常用表格	32

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由上海太和水科技发展股份有限公司提出。

本文件由上海市环境科学学会归口。

本标准起草单位：上海太和水科技发展股份有限公司、上海海洋大学、华东师范大学、同济大学、上海市水利工程设计研究院有限公司、浙江省城乡规划设计研究院、南京市市政设计研究院有限责任公司、上海卡尔逊环境科技咨询有限公司。

本文件主要起草人：何文辉、刘玉超、何培民、揭亮、徐小娜、张敏、徐兵兵、高洋、王蓉、吴智辉、张饮江、黄民生、李怀正、张尧、潘珊珊、孔宇、杨柳。

城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南

1 总则

1.1 适用范围

本指南主要适用于城镇湖泊中水深相对较浅的湖泊中水生态系统构建与生态修复,涉及外源污染控制、内源污染削减、水质净化、水生态修复、岸线修复、生态补水与水动力改善等内容。

1.2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)

《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005-2010)

《人工湿地水质净化技术指南》(环办水体函〔2021〕173号)

《污水自然处理工程技术规程》SL/T 793-2020 CJJ/T 54-2017

《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》SL/T 800-2020

《土地利用现状分类》GB/T 21010-2017

《河湖健康评价指南(试行)》,水利部河湖管理司,2020.8

《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南》(试行)(环办〔2014〕111号附件5)

《上海市河道生态治理设计指南》,上海市水务局,2012.12

《水生态承载力评估技术指南》,中国环境科学学会,2020.6

《河湖生态修复与保护规划编制导则》SL 709-2015

《环境保护标准编制出版技术指南》HJ 565-2010

《水质样品的保存和管理技术规定》HJ 493—2009

《土壤质量土壤样品长期和短期保存指南》GB/T 32722-2016

《水质叶绿素a测定标准》HJ 897-2017

《城市污水再生利用景观环境用水水质》GB/T 18921-2019

《湖泊调查技术规程》,中国科学院南京地理与湖泊研究所,科学出版社,2015.5

《中国营养化调查规范》,科学出版社,1990.6

《地表水环境质量评价办法》(环办〔2011〕22号)

《湖沼学内陆水生态系统 [Jacob Kalff 著]》2011年版

《Ecology of shallow lakes》, Marten Scheffer, Kluwer Academic Publishers, 2004

1.3 术语和定义

1.3.1 城镇湖泊 Urban Lake

城镇湖泊是指城市及乡镇拥有的一类浅水型淡水湖泊，一般平均深度小于 5-6 米，水体界面充分混合，湖水与底泥间物质交换强烈，沉积较为缓慢，没有明显的水温分层现象，具有湿地特性，能够生长水生维管束植物。一般城镇湖泊生态系统比较脆弱，因水体浅而容量小，且污染负荷能力较低，而城市及乡镇污染比较严重，极易发生富营养化并暴发蓝藻水华。

1.3.2 淡水生态系统 Fresh Water Ecosystem

淡水生态系统是指由淡水水域中水生生物群落与水域生存环境共同组成的生态系统，包括流水生态系统（lotic ecosystem）和静水生态系统（lentic ecosystem）。

流水生态系统是指由流动水体构成的淡水生态系统，如江河、溪流、水沟、水渠等。静水生态系统是指由相对静止水体（流动和更换缓慢）构成的淡水生态系统，如湖泊、水库、池塘等。

1.3.3 浮游植物 Phytoplankton

浮游植物，也称浮游藻类，是水域的初级生产者，为一类体内含有叶绿素或其他色素、能吸收水中营养物质进行光合作用合成有机物的浮游生物。

1.3.4 浮游动物 Zooplankton

是一类在水中营浮游生活的动物。

在内陆水体中，浮游动物（zooplankton）包括小至小于 2 μm 的鞭毛虫类原生动（protozoa）大至超过几个厘米的甲壳类动物（crustaceans）。体长大于 200 μm 的浮游动物称为大型浮游动物（macrozooplankton），主要由甲壳类组成。体长小于 200 μm 的浮游动物称为小型浮游动物（microzooplankton），包括轮虫（rotifers）、挠足类（copepods）无节幼体和原生动物。

1.3.5 底栖动物 Benthic Macrofauna

底栖动物是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群，包括沉积物表层的底表动物（epifauna）、沉积物内的表层动物（infauna）、植被上的附生动物（epiphytic fauna）以及生活在河流地表水和地下水交换区域内的潜流动物（hyporheic fauna）。水生昆虫、虾、蟹类等均归属于底栖生物。

1.3.6 水生维管束植物（Aquatic Vascular Plants）

水生维管束植物，亦称水草，是指生活在水体中的维管束植物的总称，包括水生蕨类植物和水生被子植物。根据分类学可分为挺水植物、浮叶植物、沉水植物、漂浮植物。

1.3.7 水体污染源 Water Pollution Source

水体污染源是指造成水域环境污染的污染物发生源。通常是指向水域排放污染物或对水环境产生有害影响的场所、设备和设置。水体污染源可分为水体外源污染和水体内源污染。

1.3.8 藻型浊水态 A Turbid State With Little Vegetation

藻型浊水态是指水体高度浑浊且富含高浓度浮游植物和悬浮颗粒的状态。

1.3.9 草型清水态 A Clear Vegetation Dominated State

草型清水态是指水体清澈且拥有丰富的沉水植被的状态。

1.3.10 生态清淤 Ecological Dredging

生态清淤，又称环保清淤，其目的在于让水质和水生态环境得到改善，将湖体底部的淤泥和浮淤内源污染消除，避免出现二次污染，同时尽可能的不破坏水生生态系统的恢复条件。

其实质是：对污染底泥用工程技术手段实施薄层疏浚，疏浚厚度根据底泥污染的重轻程度而定，且疏浚工程实施后可为湖底微地形塑造和生态修复创造良好的生境条件。

1.3.11 生物操纵 Biomanipulation

通过投加浮游动物、去除食浮游生物者或添加食鱼动物等措施对水生生物群及其栖息地的一系列调节，使大型浮游动物的生物量增加，从而提高浮游动物对浮游植物的摄食效率，降低浮游植物的数量。

1.3.12 水生生态系统修复 Aquatic Ecological Restoration (AER)

简称水生生态修复，是指通过一系列的保护措施将已经退化的水生生态系统恢复或修复到使其能够长久保持稳定的水平。即补救已经退化的水生生态系统，减轻其影响，使水生生态系统具有更高的生态忍受性。

1.3.13 生态系统健康评价 Ecosystem Health Valuation

生态系统健康是指在人类活动持续干扰下，生态系统结构和功能依然能够保持稳定性和完整性。

生态系统健康评价是指生态系统健康评价方法是指综合测度生态系统稳定性和脆弱性的一种科学有效的方法。生态系统健康评价方法分指示物种法和指标体系法两种。

1.3.14 高内稳性 High Stability

泛指生物在变化的环境中（包括食物、环境条件、气候条件、人类干扰等）保持其身体化学组成恒定和性能稳定的相对较高的能力。

1.3.15 生物完整性指数 Index of Biological Integrity (IBI)

生物完整性 (Biological Integrity) 是指在一个地区的天然栖息地中的群落所具有的种类组成、多样性和功能结构特征，以及该群落所具有的维持自身平衡、保持结构完整和适应环境变化的能力。

生物完整性指数 Index of Biological Integrity (IBI)

将一组与周围环境关系密切、受干扰后反应敏感、可代表目标生物群落的各种结构和功能属性的生物参数整合成单一记分值的指数，可以对水体进行生物完整性评价。

1.3.16 生物多样性指数 Species Diversity Index

生物多样性 (biological diversity 或 biodiversity) 是指存在于一定空间或区域上的生物及包括生物在内的生态联合体的所有变异，包括种内（即遗传多样性）、物种和生态系统的多样性。

生物多样性指数是指反映一定区域或空间上生物多样性高低的数值指标。

1.3.17 生态涵养湖 Ecological Conserving Lakes

是指具有保护生物多样性、净化水源、土壤及空气的湖泊。

2 水生态环境调查

2.1 概述

2.1.1 水生态环境调查内容

主要包含湖泊基础信息、污染源、水环境特征、底质沉积物、水生态、湖滨带调查等，可结合现有当地规划部门、住建部门、水务部门、环保部门、园林部门、气象部门、统计部门等相关部门数据进行。

缺乏相关数据时，应及时按需进行补测补充。

2.2 基础信息调查

2.2.1 自然概况

2.2.1.1 地理位置

主要包含湖泊名称、所属自然地理位置（经纬度坐标）、行政区划分位置、人文地理位置等。

2.2.1.2 地质地貌

包括区域的地形地貌单元的类型与特征、地质构造等。

2.2.1.3 气候气象

主要包括区域的年平均降雨量、降雨集中期、降雨最大雨量，年平均蒸发量，年平均温度、高低温集中期、最高温度及其出现的时间、最低温度及其出现的时间，平均风速、主导风向，平均日照时数，月平均湿度等。

2.2.1.4 水文水系特征

水文特征包括入湖水系类型、入湖水系径流量、汛期水位变化、含沙量和结冰期水系；水系特征包括入湖水系长度、流向、各水体流域面积、入湖水系数量及其形态、河湖水系连通性、河网密度、落差或峡谷分布。

2.2.1.5 湖泊生态功能

包括水利调度、水源涵养、调蓄、生物多样性维护、泽林灌溉、景观休闲、文化娱乐等。

2.2.1.6 土地利用现状

包含农用地、建设用地、未利用地。详细分类参考《土地利用现状分类》（GB/T 21010）。

2.2.1.7 自然资源总量

包括森林、矿产、土壤、耕地、水资源等现状，尤其是植被破坏和水土流失情况。

2.2.1.8 水利工程概况

包括水电站、水库、堤防、水闸、闸坝、涵洞、泵站、护岸、桥梁、码头等工程的名称、位置、规模、等级、功能、建成时间及运行管理情况等。

2.2.2 社会经济概况

包括本地自然资源权属和利用状况、社会经济发展水平、人类活动范围和强度、相关生态保护修复

工程情况等。

2.2.3 水域基本特征

包括水域面积、水深、水色、水动力条件、湖泊岸线、宽度、形态、容量、起始边界、水体经营情况、文化娱乐活动情况等。

2.3 污染源调查

2.3.1 污染源分类

2.3.1.1 污染源按污染途径常分为内源污染、外源污染，其中外源污染按污染规模及类型可分为点源污染、农业面源污染、城市面源污染、入湖河流污染。

2.3.1.2 污染源按污染时效性可分为长期污染负荷、冲击污染负荷。

2.3.2 污染源调查内容

2.3.2.1 内源污染调查主要针对湖泊底泥污染情况进行调查，具体详见章节 2.6。

2.3.2.2 点源污染调查主要应对城镇景观湖泊的排污口进行逐一排查，重点关注周边点源截流现状，尚未截流的排污口位置、管径、标高、排放污水量及类型等，并针对暗涵、偷排污水口封堵、溯源。对城镇景观湖泊区域内绿植、游船、垂钓、行人及岸上周边商铺经营产生的污染进行调查。

2.3.2.3 农业面源污染调查主要针对村镇生活污水、农林业农药化施用、放牧养殖、固体废弃物、水土流失和暴雨径流等进行调查。

2.3.2.4 城市面源污染调查主要针对城市雨污分流状况、地表径流、干湿沉降等进行调查。

2.3.2.5 入湖河流污染调查主要针对入湖河流的水位、坡降、入湖断面、水质、流量、含沙量、固体废弃物等进行调查。

2.4 水环境特征调查

2.4.1 水质检测指标

2.4.1.1 常规指标包含水温、SD（透明度）、pH（酸碱度）、COD_{Mn}（化学需氧量）、COD_{Cr}（化学需氧量）、NH₃-N（氨氮）、TP（总磷）、TN（总氮）、SS（悬浮物）、Chl-a（叶绿素 a）、DO（溶解氧）等。

2.4.1.2 藻类浓度、重金属离子、农药残留物、大肠杆菌等根据实际需求进行选择性和针对性检测。

2.4.1.3 当湖泊水源或本底为非淡水湖泊，则需增测盐度。

2.4.1.4 现存或曾存在化工区的水域可根据需要选取相应重金属指标进行检测。

2.4.2 水质调查采样点布设

参照《地表水和污水监测技术规范》（HJ/T91）进行。

2.4.3 水质采样频次

应根据现场要求。

2.4.4 水质保存条件

参照《水质样品的保存和管理技术规定》（HJ 493）进行。

2.4.5 水质检测方法

参照《地表水环境质量标准》(GB 3838)、《水质叶绿素 a 测定标准》(HJ 897-2017)等有关规定和要求,进行水质检测。

2.4.6 水质评价

应根据应实现的水域功能类别,选取《地表水环境质量标准基本项目标准限值》(GB3838)、《生活饮用水卫生标准》(GB5749)等相应类别标准,进行单因子评价。评价结果应说明各项水质达标情况,超标的应说明超标项目和超标倍数。

2.5 底质沉积物调查

2.5.1 底质沉积物检测指标

2.5.1.1 常规指标包括沉积物各垂直深度污染物浓度,沉积物层厚、含水率、氧化还原电位、有机质含量、全氮、总磷、藻类可利用磷(AAP),重金属含量、底泥污染释放系数。

2.5.1.2 持久性有机污染物等指标根据实际需求进行选择性和针对性检测。

2.5.1.3 存在以下情况时,则需增测盐度。湖泊水源或本底为非淡水湖泊、湖泊为盐碱地改造开挖形成、湖泊由盐碱土覆盖底部。

2.5.1.4 水体为新开挖且未做防渗措施时,则需增测渗漏系数。

2.5.1.5 湖泊曾排放过医疗废水时,底质沉积物内存在大量病原体,则需增测微生物群落结构和多样性并进行分析。

2.5.2 底质沉积物样品采集

可涉水湖泊采用底质采集框收集底质样品,不可涉水湖泊采用彼得逊采泥器收集底质样品,每一断面重复采集3次。具体可参照《湖泊沉积物调查规范》(科学出版社)。

2.5.3 底质沉积物保存方法

参照《土壤质量土壤样品长期和短期保存指南》(GB/T 32722-2016)。

2.5.4 底质沉积物检测方法

参照《湖泊沉积物调查规范》(科学出版社)方法进行。

2.6 水生态调查

2.6.1 水生态调查对象

应包括浮游植物、浮游动物、着生藻类、水生维管束植物、大型底栖动物、鱼类等。

2.6.2 水生态调查内容

包含水生生物种群组成、分布和现存量。

2.6.3 水生态调查方法

参照《湖泊调查技术规程》。

2.7 湖滨带调查

2.7.1 湖滨带调查内容

湖滨带调查主要包含湖滨带类型调查、生态调查、水文水动力调查、地形地貌调查、污染物来源调查、湖滨带文化调查。其中，生态调查主要包含水质调查、底质沉积物调查、生境调查和动物迁徙途径调查。

2.7.2 湖滨带调查布点采样

需考虑岸线长度、不同岸段的生态系统特点、污染类型等因素，并结合现有排放点、调查成本、减少采样对湖滨地生态环境的影响等原则综合考虑布设。

2.7.3 湖滨带调查分析方法

生态调查与污染物调查可按本指南 2.3、2.4、2.6、2.7 条的规定进行；水文水动力调查项目（风浪、水位变化、湖流影响、河口水文水动力）需根据风情数据通过公式推导风浪数据、搜集湖泊现有的湖流数据、进行水位变化的实际测量、河口水文水动力的实际观测获得；地形地貌的数据通过现场测定获得。

3 城镇湖泊富营养化评价及分析

3.1 富营养化程度评价方法

湖泊富营养化评价与分级主要包含营养状态指数法（TLI）、灰色聚类法、营养度指数法（AHC-PCA 法）、评分法（M）四种，并通过对应的评价体系进行评级。

3.1.1 营养状态综合指数法

营养状态指数法是综合多项富营养化指标，将由 n 个指标组成得 n 维状态空间得点投影到一维空间，转换成营养状态指数（TLI），进行连续分级，其结果相对可靠。

（1）营养状态指数计算

单项营养状态指数计算公式如下：

$$TLI(Chl-a) = 10(2.5 + 1.086 \ln Chl-a) \quad (1)$$

$$TLI(TP) = 10(9.436 + 1.624 \ln TP) \quad (2)$$

$$TLI(TN) = 10(5.453 + 1.694 \ln TN) \quad (3)$$

$$TLI(SD) = 10(5.118 - 1.94 \ln SD) \quad (4)$$

$$TLI(COD_{Mn}) = 10(0.109 + 2.661 \ln COD_{Mn}) \quad (5)$$

$$TLI(NH_4-N) = 10(7.77 + 1.649 \ln NH_4-N) \quad (6)$$

将上述单项公式通过下式计算得到相关加权的综合营养状态指数：

$$TLI(\Sigma) = \Sigma W_j \times TLI(j) \quad (7)$$

式中， $TLI(\Sigma)$ 表示综合营养状态指数； $TLI(j)$ 代表第 j 种参数得营养状态指数； W_j 为第 j 种参数得营养状态指数得相关权重，一般建议选择 3~4 个指标。

以某一指标作为基准参数，则第 j 种参数得归一化得相关权重计算公式为：

$$W_j = \frac{r_{ij}^2}{\sum_{j=1}^m r_{ij}^2} \quad (8)$$

式中， r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数得相关系数；m 为评价参数的个数。

按上述相关加权法计算即可得到各子湖得综合营养状态 TLI 的数值。

表 1 中国湖泊（水库）部分参数与 chl-a 的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2 值^a

参数	Chl-a	TP	TN	SD	COD _{Mn}
r_{ij}	1	0.84	0.82	-0.83	0.83
r_{ij}^2	1	0.7056	0.6724	0.6889	0.6889

^a：引自金相灿等著《湖泊富营养化调查规范》，表中 r_{ij} 来源于全国主要湖泊调查数据的计算结果。

(2) 湖泊营养状态分级

根据《湖泊富营养化调查规范》和富营养化分级判别标准等相关标准评价湖泊富营养化状态。采用 0~100 的一系列连续数字对湖泊营养状态进行分级，具体见下表：

表 2 湖泊营养状态分级

营养状态	贫营养	中营养	轻度富营养	中度富营养	重度富营养
评价标准	TLI (Σ) < 30	30 ≤ TLI (Σ) ≤ 50	50 < TLI (Σ) ≤ 60	60 < TLI (Σ) ≤ 70	TLI (Σ) > 70

3.1.2 灰色聚类法

已知 n 个待评湖库水质样本得 m 项富营养化程度指标变量 X_i ($i=1, 2, \dots, m$)，且已规定了每项指标上的 p 级富营养化程度标准值，构成标准矩阵 $Y = (Y_{ik})_{m \times k}$ 。对于每隔污染指标 (t)，每个 X_{ij} 都有其效果值，所有的效果值又构成矩阵 $A^{(t)} = (A_{kj})_{p \times n}$ 。各种污染指数对环境质量的影响不同，数值越大环境质量等级越高的称为正向指标，相反则称为反向指标，因此不同的指标效果矩阵的计算白化函数也不同。

(1) 当 $X_{ij} < Y_{i1}$ (正向指标) 或当 $X_{ij} > Y_{i1}$ (反向指标)，

$$A_{kj} = \begin{cases} 1, & k = 1 \\ 0, & k = (2, 3 \dots n) \end{cases} \quad (9)$$

(2) 当 $Y_{it} < X_{ij} < Y_{i(t+1)}$ ($t < p-1$)，

$$A_{kj} = \begin{cases} 0, & k < t \text{ 或 } k > t + 1 \\ \frac{Y_{i(t+1)} - X_{ij}}{Y_{i(t+1)} - Y_{it}}, & k = t \quad (\text{正向指标}) \\ 1 - A_{tk}, & k = t + 1 \end{cases} \quad (10)$$

或

$$A_{kj} = \begin{cases} 0, & k < t \text{ 或 } k > t + 1 \\ \frac{Y_{it} - X_{ij}}{Y_{i(t+1)} - Y_{it}}, & k = t \quad (\text{反向指标}) \\ 1 - A_{tk}, & k = t + 1 \end{cases} \quad (11)$$

(3) 当 $X_{ij} > Y_{ip}$ (正向指标) 或当 $X_{ij} < Y_{ip}$ (反向指标),

$$A_{kj} = \begin{cases} 0, & k = (1, 2, \dots, p-1) \\ 1, & k = p \end{cases} \quad (12)$$

对于 $X = (X_{ij})_{m \times n} = (X_1, X_2, \dots, X_m)^T$, 每个 X_i 就可以得到一个对应的 $A^{(i)}_{p \times n}$ 矩阵, 将所得到的 m 个矩阵按公式 (13) 计算:

$$A_{kj}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^m w_k A_{kj} \quad (13)$$

其中, w_k 指水质分析实验中各指标的权重。

然后应用级别变量特征值公式 (14) 来最终确定各个点的营养化程度。

$$T_j = \sum_{k=1}^p k A_{kj} \quad (14)$$

3.1.3 营养度指数法 (AHC-PCA 法)

通过分析国内外现有湖泊营养化评价模式, 进行了反复的理论探索和实践验证, 将层次分析法 (AHP) 和主成分分析法 (PCA) 相结合, 提出湖泊富营养化状态综合评价方法, 即层次分析-主成分分析营养度指数法。

综合营养度的计算公式为:

$$\begin{aligned} TLLC &= \sum_{j=1}^m W_j * TLL_j = \sum_{j=1}^m W_j (a_j + b_j \ln C_{jx}) \\ a_j &= \frac{\ln C_{jmin}}{\ln C_{jmax} - \ln C_{jmin}} \times 100 \\ b_j &= \frac{1}{\ln C_{jmax} - \ln C_{jmin}} \times 100 \end{aligned} \quad (15)$$

式中, $TLLC$ 为湖泊营养状态的综合营养度; TLL_j 为第 j 个因子的分营养度; W_j 为第 j 个因子的“综合权”。 C_{jx} 为第 j 个因子的监测值 (平均值、丰季均值或最大值); C_{jmin} 和 C_{jmax} 分别是第 j 个因子相应于营养度为 0 和 100 时的浓度值。

3.1.4 评分法 (M)

利用湖泊藻类生长旺季的叶绿素 a (湖水中藻类生长高峰值前后三个月的平均值) 与相应期间 TP、TN、 COD_{Mn} 、SD 的相关关系, 确定评分值, 从而判断湖泊营养程度。

$$\text{评分模式: } M = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_i \quad (16)$$

式中, M 为湖泊营养状态评分指数值; M_i 为 i 个评价参数的评分值; n 为评价参数的个数。

具体计算为:

- 1) 采用线性插值法将水质浓度值转换为赋分值;
- 2) 按公式计算营养状态指数 EI。

表 3 评分法 (M) 指标评价等级及赋分

营养状态分级 EI=营养状态指数		评价项目赋分值 E_n	总磷 (mg/L)	总氮 (mg/L)	叶绿素 a (mg/L)	高锰酸钾指数 (mg/L)	透明度 (m)
贫营养 $0 \leq EI \leq 20$		10	0.001	0.02	0.0005	0.15	10
		20	0.004	0.05	0.001	0.4	5
中营养 $20 < EI \leq 50$		30	0.01	0.1	0.002	1	3
		40	0.025	0.3	0.004	2	1.5
		50	0.05	0.5	0.01	4	1
富营养	轻度富营养 $50 < EI \leq 60$	60	0.1	1	0.026	8	0.5
	中度富营养 $60 < EI \leq 80$	70	0.2	2	0.064	10	0.4
		80	0.6	6	0.16	25	0.3
	重度富营养 $80 < EI \leq 100$	90	0.9	9	0.4	40	0.2
100		1.3	16	1	60	0.12	
例如: 水质			0.05	4.2	0.01	4.2	1.5
E_n			50	75.5	50	50.5	40.00
EI			53.20				

3.1.5 富营养化评价标准

根据《湖泊富营养化调查规范》和《富营养化分级判别标准》等相关标准评价湖泊富营养化状态，一般建议采用营养状态综合指数法 (TLI) 评价湖泊富营养化程度，推荐取 3~4 个指标。

3.2 城镇湖泊生态健康评价

3.2.1 物种多样性调查与分析

参照《城市水体生态健康评价技术导则》(征求意见稿)。

3.2.2 城镇湖泊生态健康评价

城镇湖泊生态健康评价应结合城镇湖泊的具体特点开展综合评价，包括物化指标、水环境指标、水生生物指标、人体健康指标。具体评价详见第 6.5。

4 水生态系统修复方案设计

4.1 设计目标

设计目标达到生物修复目标，理想状态是达到原始的状态，即生态修复目标。

生物修复目标：

(1) 透明度目标：水体透明度常年达到 1.2 m 以上，不足 1.2 m 清澈见底，全面构建“草型清水态”水体；

(2) 水质目标：水质主要富营养指标水质指标（溶解氧、 COD_{Mn} 、氨氮、总磷）稳定在地表水环境质量标准 (GB3838-2002) III~IV 类水（即溶解氧 ≥ 3 mg/L, $COD_{Mn} \leq 10$ mg/L, 氨氮 ≤ 1.5 mg/L, 总磷 ≤ 0.3 mg/L）。

4.2 设计原则

4.2.1 概述

4.2.1.1 确定目标水体的生态功能、定位及目标是城镇景观湖泊高内稳水生态系统修复设计的基础。水域环境生态修复设计应从系统性、整体性出发，重点考虑水资源、水质净化、水生态修复、生物多样性保护等生态功能，同时兼顾水安全、水景观、水文化、水经济等。

4.2.1.2 “一湖一策”设计原则：城镇湖泊高内稳水生态系统修复设计应遵从城市湖泊自身的功能、环境质量要求及生态定位。对于健康状况良好的湖泊，以预防维护措施为主，保护湖泊水生态系统，维持水质稳定和湖泊物种多样性。对于轻微受损的城市湖泊，可优先采用水生态修复措施，外控源，内提质。对于严重受损的城市景观湖泊，可采取生态系统重建等措施。

4.2.1.3 最大还原与最小干预原则：恢复到城市湖泊水域原有的自然生态系统，实现水生态系统的完整性。且工程实施不影响水域现有的自然景观及游憩活动。同时，工程进行过程中对周边环境及安全的影响降到最低。

4.2.1.4 系统性与长效性原则：因地制宜实施城市湖泊高内稳水生态系统修复工程，同时要建立水生态系统长效管理机制。

4.2.1.5 技术可行与经济最优原则：城市湖泊高内稳水生态系统修复技术，要求具有先进性，而且必须考虑优先使用投入成本和运行费用总和相对较低。

4.3 污染源控制

4.3.1 概述

4.3.1.1 当汇入湖泊的污染物过多，超过湖泊的自净能力时，湖泊水质发生变化，使湖泊环境严重恶化，容易出现富营养化、沼泽化、水体黑臭的水环境问题。因此，控制污染源，是湖泊水生态修复的重要基础，是建立湖泊高内稳生态环境的前提。湖泊污染源可分为内源污染和外源污染，外源污染包括点源污染及面源污染。污染源控制过程中，要尽量减少二次污染。

4.3.2 内源污染控制方法

主要包括清杂打捞、排水晒塘、底质改良活化、生态清淤等，根据目标水体内源污染程度、工况及可实施条件采取相应的应对处理措施。

4.3.2.1 清杂打捞

湖泊原有待清理的水生植物、岸带植物和枯枝落叶等，需在干枯腐烂前清理；水面漂浮垃圾如塑料袋、水瓶、其他生活垃圾等，需要长期清捞维护；湖泊沿岸垃圾临时堆放点应一次清理到位。

4.3.2.2 排水晒塘

有条件的城镇湖泊，可采取简易的排水晒塘处理方式，不低于5天为宜，有利于内源污染控制和改善湖底生境。

4.3.2.3 底质改良活化

根据湖泊底质条件调查结果,综合考虑选取合适方式处理湖底底质改良活化。常用的底质原位改良活化包括微生物底改法、石灰法、过氧化钙法等,具体方法对比见下表。

表 4 不同底质原位改良方式对比

底质处理方式	适用情况	优点	缺点	使用量
微生物法	有机物含量高,底部溶氧缺乏	能发挥各菌种的协同作用,能改善底质和水质,控制病原微生物及其病害的蔓延扩散	成本高,需要安全性论证	30-50g/m ²
生石灰法	淤泥深厚、硬度大、营养丰富、pH 值偏低	改善池底的通气条件,加速细菌分解;稳定 pH 值,有利于鱼类的生活。	无增氧作用	50-150g/m ²
过氧化钙法	水体酸化、氨氮含量高、pH 值偏低	稳定性好,有较强的杀菌、消毒作用且对环境无污染,有一定增氧效果	容易反弹反复,不能彻底根治	50-100g/m ²

4.3.2.4 生态清淤

水体生态清淤深度需根据底泥营养盐和重金属含量垂直分布特征及清淤后底泥营养物向水体的再次释放综合分析确定。常用的清淤方式包括人工清淤、机械清淤等。不同的生态清淤疏浚方式各有优势,应根据场地条件、底泥泥质情况及后续出路等因素综合考虑确定。根据工程实践分析,污染源未解决的情况下,不建议底泥疏浚。

4.3.3 外源污染控制方法

主要有控源截污法、原位处理法、异位处理法及水质应急净化法。

4.3.3.1 控源截污法

从源头控制污水向目标水体排放,主要针对湖体沿岸各种污水排放口等污染源的控制与治理等永久性工程治理,包括截污纳管、排口改造技术、低影响开发(LID)技术、初期雨水控制与净化技术、地表固体废弃物收集技术、生态护岸与隔离(阻断)技术、生态湿地技术。

4.3.3.2 原位处理法

在外源污染汇入区域设置生态缓冲区,对外来污水进行适度生态预处理。同时沉淀来水中的泥沙、悬浮物等,再排入湖泊。生态缓冲区能够有效减少外源污染负荷,去除来水污水中的悬浮物、油类、有机污染物等,改善来水生化性质,为后续水质净化提供条件。

(1) 生态缓冲区技术措施包括漂浮软围隔技术、生态湿地技术、生态稳定塘技术、生物接触氧化技术、生态促沉技术、漂浮湿地技术、砾石过滤法等。

(2) 根据来水污水水质特征、现场用地要求、水质要求等,专项选择针对性预处理区技术措施。

(3) 生态缓冲区技术措施宜采取建设与运行成本低、建成后不需要频繁操作更换的处理设施。

4.3.3.3 异位处理法

在水体之外设置净化系统,实现水流由外围设施净化的技术措施,净化后再汇入湖泊内。异位处理法包括生态湿地技术、生态稳定塘技术、一体化设备净化、砾石接触氧化技术等。

4.3.3.4 水质应急净化法

针对偶然性突发的污染源，采取临时应急净化措施减缓污染带来的影响。水质应急净化法包括微生物净化技术、移动式曝气增氧技术、锁磷净化技术、引清稀释、围隔过滤技术等。

4.4 高内稳水生态系统修复

4.4.1 概述

高内稳水生态系统修复指以控藻浮游动物作为启动因子，配置高内稳型沉水植物群落，继而引起各项生态系统恢复的系列反应：从底泥有益微生物恢复、底栖螺贝类恢复到沉水植物恢复、土著鱼虾类等水生生态系统恢复，最终实现水体的污染生态自净及稳态修复。

4.4.2 高内稳水生态系统修复的主要措施

措施包括：生境营造、鱼类调控、水生维管束植物群落构建、藻类控制、水体透明度提升、水生动物群落结构优化、水质生态净化。

4.4.3 鱼类初期调控

重点控制滤食性鱼类、草食性鱼类、底栖性鲤科鱼类等，保留土著肉食性鱼种。以抑制浮游植物和沉积物再悬浮，促进浮游动物、水生高等植物为原则，促进湖泊良性生态系统的建立。

4.4.4 水生维管束植物群落构建

4.4.4.1 水生维管束植物群落构建包括高内稳型沉水植物群落构建、浮叶植物群落构建、漂浮植物群落构建、挺水植物群落构建。

4.4.4.2 配置原则

- a. 土著种优先原则：优选土著种，慎用外来种，可适当配置景观物种或归化种。
- b. 生物多样性原则：注重水生物种的配置结构、时空结构和营养结构，增强水体景观价值。使水系中水生生物种群结构合理稳定。
- c. 多功能性原则：兼顾耐污能力强和净化效率高的物种，同时结合社会、娱乐、美学特征，营造自然水生态系统。
- d. 维护简易性原则：选择管理维护方便的水生植物种类与数量。

4.4.4.3 选择对应植物种类、生活型，设计植物群落结构配置、节律匹配和景观结构，实现净化功能。

4.4.4.4 因地制宜，设计以沉水植被为主、浮叶植物为辅、结合少量挺水植被和漂浮植物的全系列生态系统修复模式。

4.4.4.5 水生维管束植物分为沉水植物、漂浮植物、浮叶植物及挺水植物，具体分类及作用如附表 B.1 所示。

4.4.4.6 不同类型的水生植物种植方式也有差异。常用的种植方式如附下表所示，可结合实际工况选择合适的种植方式。

表 5 水生维管束植物种植方式

植物种类	挺水植物	漂浮植物	浮叶植物	沉水植物
种植方式	盆栽、插植	浮床种植、圈养	盆栽、插植、抛掷	盆栽、插植、抛植
适宜水深	0-1.0m	≥0.1m	0.1-2.0m	0.2-5.0m

4.4.4.7 为保证高内稳水生态系统修复达到最佳效果，需保证水生植物的种植密度，常用种植密度如下表所示，可结合工况及净水目标根据实际情况进行调整。

表 6 水生植物种植密度

植物种类	沉水植物	漂浮植物	浮叶植物	挺水植物
种植密度	80-150 株/m ²	10-20 株/m ²	2-16 株/m ²	9-25 株/m ²

注：在水体较深或潜在面源污染或来水污染负荷较高或悬浮物浓度较高时，可适当采取高密度栽植，栽植密度宜为上述表格密度最大值的 1.5 倍~2 倍。

4.4.4.8 高内稳型沉水植物群落构建

(1) 高内稳型沉水植物群落作为高内稳水生态系统内重要的一环，对水质改善起到决定性的作用。根据工程实践和野外调研结果显示，沉水植物一般种植于水深 0.2-5 m 的区域，根据不同水域适当调整。

(2) 常见的沉水植物如附表 B.2。

(3) 严格杜绝外来物种。

4.4.4.9 浮叶植物群落构建

(1) 通常布置于水深 0.1m-2m 的位置，种植方法主要为盆栽、插植、抛掷。

(2) 设置在开阔平缓水域，避免在受风浪影响大或有行洪需要的位置大规模配置。

(3) 主要设置在亲水平台、景观步道、桥梁栈道两侧等位置。

(4) 要充分考虑其生物特性，如是否容易蔓延等，避免遮挡导致沉水植物缺乏光照难以进行光合作用。

(5) 常见浮叶植物如附表 B.3。

4.4.4.10 挺水植物群落构建

(1) 主要种植于湖泊驳岸浅水处，最佳种植水深为≤1m。

(2) 主要功能有拦截地表径流、削弱面源污染、提高湖泊整体景观效果、为水生动物及禽类提供繁衍生息场所等。

(3) 要注意品种的搭配，利用花色及植株高低打造景观效果。设计沿驳岸种植时，植株密度不宜过高，要注重水体通透性，避免喧宾夺主，过多挺水植物遮挡水面视线。

(4) 主要种植方法为盆栽、插植。在水深过深区域，可选择种植平台种植，亦可选用浮台。

(5) 常见的挺水植物如附表 B.4。

4.4.5 藻类控制

高内稳水生态系统修复过程中藻类调控，主要包括浮游藻类调控（蓝藻、绿藻、硅藻等）和附着藻类调控（“青苔”为附着藻类典型代表）。

（1）藻类滋生初期或藻类颗粒 $\leq 50-80\mu\text{m}$ ，可通过光合细菌、乳酸杆菌、芽孢杆菌类等微生物菌剂调控浮游藻类，根据实际情况分批次泼洒。

（2）藻类滋生初期或藻类颗粒 $\leq 50-80\mu\text{m}$ ，采用经典生物操纵理论，适当投放枝角类大型溞（单体 $> 1.5\text{mm}$ 为宜）来调控浮游藻类，根据实际情况分批次泼洒。

（3）藻类滋生严重或蓝藻聚集严重情况下，借助物理或生化措施来调控藻类，包括借助人工或机械打捞、遮光、投加腐殖酸钠、调整 pH 值等措施。

4.4.6 水体透明度提升

（1）光照是沉水植物的必要生长条件，也是高内稳水生态系统修复也重要基础。影响水体透明度的原因主要是水体中的悬浮物浓度和浮游植物数量等。

（2）水体透明度提升的方法有物理、化学、生物方法。物理法有设备处理；化学法有投加絮凝剂等；生物法有投加生物制剂、大型溞等。各方法对比如下表所示。

表 7 水体透明度提升方法对比表

序号	类别	方法	原理	优点	缺点
1	物理法	设备	通过物理作用，以分离、回收污水中不溶解的呈悬浮状的污染物质（包括油膜和油珠）	能有效提高水体透明度	需要额外占地，造价高，产生噪音
2	化学法	絮凝剂	通过投放化学药剂破坏胶体的稳定性，使污水中的胶体和细小悬浮物聚集成具有可分离特性的絮凝体，再加以分离去除。	能有效提高水体透明度，见效快	环境不友好，对水体生态有毒害作用，一般不予采用
3	生物法	生物制剂	通过对氮的氨化、硝化、反硝化作用，微生物驱动着水体中氮循环；同时微生物也参与有机磷的分解过程。	能提高水体透明度，见效快，低能耗	效果有限，有特定工况限制：存在生物环境风险及要求遵循有关风险控制要求
4		大型溞	浮游动物滤食有机悬浮物颗粒，吞噬水体中蓝绿藻类及腐泄物，将其消化、分解。	作用速率快，适用范围广，低能耗，不存在外来物种入侵等风险	普通控藻浮游动物体型小，业务能力弱

（3）通过大型溞或生物制剂来减少水体中悬浮物浓度和浮游植物数量，水体透明度随之大幅提升，为植物生长创造良好条件。控藻浮游动物和生物制剂的对比如下表所示。

表 8 水体透明度提升工艺对比

方法	浮游动物	生物制剂
种类	控藻浮游动物	生态净水剂
作用时间	①沉水植物种植前，投加控藻浮游动物，加速水体净化，为植物的生长构建良好的环境。 ②在沉水植物种植完毕后，投加控藻浮游动物，迅速提高水体透明度，为沉水植物光合作用提供条件。	沉水植物种植前投放
用量	60-180 ml/m ² ，3-5 只/mL	1.5-2.5kg/亩

效果标准	透明度达到沉水植物光饱和点（一般>80cm）	
适用情况	水体蓝绿藻、有机质与泥沙等悬浮物较多	水体有机质较高，但无机悬浮物含量不高的情况
优点	作用速率快，适用范围广，不存在外来物种入侵等风险	低耗能，成本低廉，操作方便
缺点	普通控藻浮游动物体型小，业务能力弱	对泥沙等造成的浑浊效果不明显，首次需要加倍剂量。

4.4.7 水生动物群落结构优化

(1) 水生动物包括鱼类、底栖动物、虾类等。优化水生态系统食物链的结构，有利于水生态系统保持动态平衡。

(2) 考虑不同鱼类及底栖动物的生活空间差异和食性差异，从当地物种中选取多种鱼类和底栖动物构建食物链，使所选物种在栖息空间和食性方面能够很好地互补，更好地利用水体空间和饵料资源。

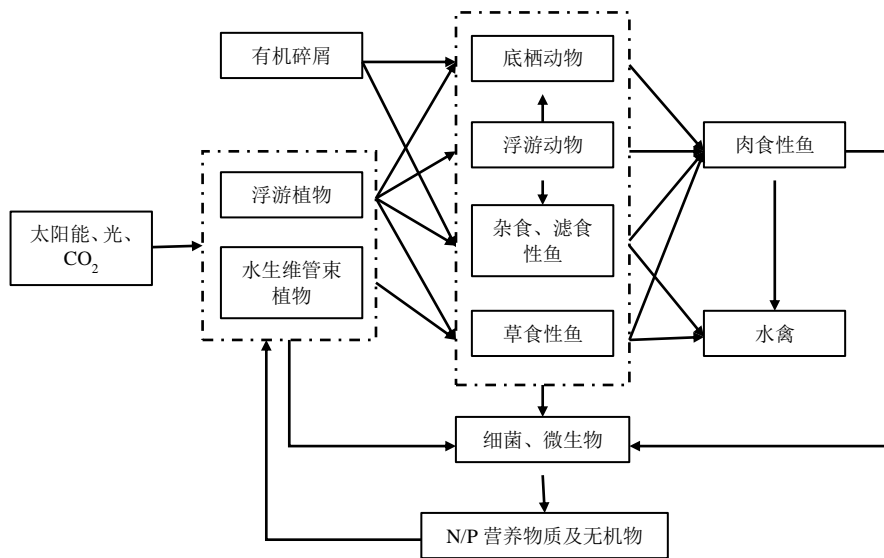


图 1 水生态系统的基本组成及营养关系

(3) 鱼类重量建议投放比例：肉食性鱼类 40% ~ 60%，滤食性鱼类 10% ~ 20%，杂食性鱼类 10% ~ 15%，底栖食性鱼类 < 10%，草食性鱼类 < 5%。

(4) 为保证高内稳水生态系统修复达到最佳效果，需保证水生动物的投放密度，常用投放密度如下表所示，可结合工况及净水目标根据实际情况进行调整。

表 9 常用水生动物投放密度

水生动物种类	鱼类	底栖动物	虾类
投放密度	100-200 尾/万 m ²	1000-3000kg/万 m ²	10-20kg/万 m ²

(5) 在水生植物种植完成后，先构建底栖动物群落以净化水质，待后期水生植物生长稳定后再构建鱼类群落。

(6) 湖泊高内稳水生态系统修复后，应对湖泊进行监测，定期对水体中的草食性鱼类清理。当湖泊中鱼类生物量超过 400kg/万 m² 时，应该对鱼类进行捕捞，防止水生态系统崩溃。

4.4.8 水质生态净化

湖泊本底水体氨氮 $\geq 1.5\text{mg/L}$ 或COD $\geq 80\text{mg/L}$ 等因素会对生态系统构建造成一定干扰甚至破坏情况，需进行原位水质生态净化处理。水质生态净化措施主要包括微生物净化、增氧措施、降磷措施等。

4.4.8.1 当城市湖泊水体所需补水量不大时，生态补水亦可选用城市储蓄雨水、自来水、中水等水源，宜优选中水为补水水源，其水质应符合国家现行标准《城市污水再生利用景观环境用水水质》GB/T 18921-2019、《再生水水质标准》SL 368-2006 的相关规定。

4.5 生态补水、水动力循环

4.5.1 概述

4.5.1.1 河湖生态流量是指为了维系河流、湖泊等水生态系统的结构和功能，需要保留在河湖内符合水质要求的流量（水量、水位）及其过程。开展湖泊生态流量、生态水位满足状况评价，分析存在的主要问题和成因。对于生态流量（水量、水位）不足导致动植物生境、自然系统遭到严重破坏的景观湖泊，应实施生态补水工程。

4.5.1.2 对于水体流动性较差、水面漂浮油膜、藻类密度较高、富营养化严重的封闭或半封闭湖泊水体，可根据现场地形地势选择适宜动力设备开展水动力循环工程，增加水体流动性和溶解氧，加速污染物降解、削减、去除。

4.5.2 生态补水技术

4.5.2.1 湖泊生态流量的计算可分为封闭性湖泊、半封闭型湖泊，计算方法可按现行行业标准《水资源保护规划编制规程》SL613-2013和《河湖生态保护与修复规划导则》SL709-2015的有关规定执行。建立生态水位月监测、年评估制度，实行严格水资源管理制度，加强水利工程优化调度和取用水管控，有效保障湖泊生态水位。

4.5.2.2 生态补水应充分考虑上游生态流量（包含生活、生产、生态用水）、水质，结合当地气候、地形等条件，适时通过上游进行生态补水，保证湖泊生态基流。半封闭型湖泊还需考虑下游生态流量保证措施，综合调控管理。

4.5.3 湖泊水动力循环技术

4.5.3.1 湖泊水动力循环主要依靠动力设备将水体向横向、纵向空间产生位移形成闭合循环流动，动力设备参数需考虑循环水量、流速、开启周期、水头损失、进排水口高程差等因素。

4.5.3.2 横向空间水动力循环可分为水体内循环、水系贯通循环，前者可采用推流设备如浮船式推流曝气机、水车等，后者宜采用抽水泵抽水至上游水系方式，可辅以推流设备加快水循环流动。

4.5.3.3 纵向空间水动力循环主要依靠设备内提升泵将底层低溶解氧水体提升至表层，表层水体通过自重进入下层，提高整体溶解氧并将其均匀分布化。常用设备为水动力循环复氧控藻设备。

4.6 增氧曝气

4.6.1 概述

4.6.1.1 水中溶解氧（DO）的含量是反映水体污染状态的一个重要指标。增氧过程能促进上下层水体的混合，以提高水中的溶解氧含量，防止水体黑臭现象的发生。恢复和增强水体中好氧微生物的活力，使水体中的污染物质得以净化，从而改善河流的水质。

4.6.1.2 增氧曝气一般用于水体流动缓慢、水质较差或突发污染严重的河湖。当水体溶解氧浓度低于 3 mg/L 时就需实施增氧。该技术对水生生态不产生任何危害，非常适合于城市景观湖泊和微污染源水的治理。

4.6.2 增氧曝气技术

4.6.2.1 增氧曝气技术包含自然增氧技术和人工增氧技术。自然增氧技术一般包含跌水曝气、单级或多级陡坡充氧，人工增氧技术一般采用固定式增氧和移动式增氧。

4.6.2.2 自然增氧技术多用于流动性较大的河道，在湖泊中使用时，可辅以水动力设备将水抽至高处，利用高程差和重力进行充氧。采用跌水曝气增氧时，可利用块石、卵石等进行保护和消能；采用陡坡充氧时，坡度宜为 1:1.5~1:4。

4.6.2.3 人工增氧技术应根据需曝气湖泊水质目标、湖泊条件、湖泊功能要求、污染源特征的不同，采用固定式或移动式增氧。

4.6.2.4 浅水湖泊由于混合较均匀，流动性较好，不用考虑垂直水深深度，可采用机械曝气和鼓风曝气。较深湖泊，下层水体多处于厌氧状态，可采用鼓风曝气和纯氧曝气方式。深水湖泊，由于下层水体严重缺氧，增氧方式可采用纯氧曝气方式。

4.6.2.5 机械曝气适用于水深较浅、没有航运、水上活动等功能要求或景观要求的湖泊，可作为短时间冲击污染负荷的主要措施。

4.6.2.6 鼓风曝气或纯氧曝气适用于水深较深，需要长期曝气复氧的湖泊。有航运功能、水上活动等要求或有景观功能要求的湖泊，可将三种曝气形式组合，有效提高水体复氧能力和抗冲击能力。

4.6.2.7 机械曝气设备根据叶片/叶轮浸没程度分为表面曝气机与浸没式叶轮曝气机。表面曝气机垂直方向主要作用范围不大于 1.5m，浸没式叶轮曝气机垂直方向主要作用范围大于 2m。表面曝气机主要为水车式增氧机，浸没式叶轮曝气机主要有叶轮式增氧机、涌浪机、空气能增氧机。

4.6.2.8 鼓风曝气设备出气口均位于水面下。可固定于湖底的设备包含潜水式曝气机、太阳能循环复氧机、微纳米穿孔曝气器、穿孔曝气器、射流曝气机；可固定于水面（浮船结构）的设备包含浮船式增氧机、太阳能循环复氧机；可固定于岸边的设备包含微纳米穿孔曝气器（干管）、穿孔曝气器（干管）、射流曝气机。

4.6.2.9 纯氧曝气设备主要有纯氧微孔曝气系统、纯氧射流曝气系统和纯氧涡旋曝气系统。

4.6.2.10 曝气需氧量计算方法主要有组合推流式反应器模型、箱式模型和耗氧特性曲线法。

4.6.2.11 机械曝气设备应依据处理单元对水中溶解氧含量的要求,确定充氧时间及充氧设备功率等。主要技术参数是以动力效率[以 $\text{kgO}_2/(\text{kw h})$ 计],根据校正计算得到的氧转移速率与设备的动力效率来确定设备的总功率和数量。

4.6.2.12 鼓风曝气设备的设备容量可参考污水处理工程设计手册中的相关内容进行计算。

4.6.2.13 纯氧曝气设备容量可参考鼓风曝气设备进行计算确定,此时曝气器一般采用氧利用率较高的微孔扩散装置。

4.7 驳岸

4.7.1 概述

4.7.1.1 建于水体边缘和陆地交界处,沿水体地面以下,保护河湖岸,阻止河湖岸崩塌或冲刷,以免遭受各种自然因素和人为因素破坏的构筑物称为驳岸。

4.7.1.2 根据目前国内外河湖情况,驳岸可分为传统型驳岸和生态型驳岸。

4.7.2 传统型驳岸

4.7.2.1 传统型驳岸多以水泥、沥青、块石、混凝土等硬质材料为主要建材,往往局限于防洪排涝、引水等基本功能上,缺乏生态景观功能。

4.7.2.2 传统型驳岸在保持岸坡稳定性、防洪排涝、减少水土流失等方面有较好的作用,但施工难度相对较大,对施工工况有较严格限制,工程造价高,维修维护成本高、难度大。

4.7.2.3 传统型驳岸隔绝了岸坡土壤与水体的物质交换,生物链完全断开,破坏了原有的生态平衡,侵蚀植物生长空间,割断了水岸的沟通感。

4.7.2.4 传统型驳岸主要有浆砌石驳岸、干砌块石驳岸、丁坝驳岸、沉排护坡驳岸、沙袋驳岸、混凝土块驳岸、现浇混凝土驳岸等。

4.7.3 生态型驳岸

4.7.3.1 生态型驳岸多利用植物与工程措施相结合的方式,主要功能包括防洪排涝、水体保持、保护岸坡、缓冲沉淀、生态自净、柔滑岸线、美化造景等。

4.7.3.2 生态型驳岸设计是应遵循以下原则:

(1) 行洪通畅原则:生态型驳岸设计前必须严格调查周边水域行洪需求、区域气候水文等基础数据,做好相关模型测算,确保驳岸的建设不会对水体特别是河道的行洪功能造成影响。

(2) 水土稳定原则:驳岸设计要充分考虑流水对岸坡的冲刷,驳岸有一定的稳定性,水土不能滑坡。

(3) 生态安全原则:生态型驳岸设计必须名副其实,选材要以生态为主,对水体的生态系统冲击最小化,对水体流量、流速、淤积、外观等影响最小化。尽可能地为植物、动物及微生物创造多样性生境。

(4) 成本经济原则:设计生态型驳岸时,不仅要考虑生态性,选材时也要控制成本。

4.7.3.3 驳岸在配置植物时应充分利用区域原生物种，不引入外来入侵物种。

4.7.3.4 生态型驳岸主要类型有自然植物驳岸、格宾石笼驳岸、复合材料植生驳岸、抛石叠石型驳岸。

1、自然植物驳岸

(1) 主要利用自然植物的茎叶及发达的根系，固土护坡、锚固土壤、减少水土流失、截留面源、吸收水体部分营养元素及重金属，削弱污染。

(2) 自然植物驳岸适用于坡度较低、水流速度较缓的区域，流速一般以 0-1.5 m/s 为宜。

(3) 自然植物驳岸主要优势在于：

- a.可保护水体区域原生生态环境；
- b.可促进有机物的降解，拦截外围污染，改善水质；
- c.可节省材料及人工，管理维护成本低；
- d.可抗冲刷、固土护岸，提升景观效果、增加生态位。

(4) 自然植物驳岸配置植物要充分考虑当地条件、水体功能、与周边环境的协调度、物种景观搭配、净化效率等问题。

2、格宾石笼驳岸

(1) 石笼的钢丝要有一定的抗拉程度，且断头采用聚合物包裹。

(2) 石笼内填充石块，选用质地坚硬、耐用性强、抗腐蚀的石块。

(3) 石笼常水位以上位置可铺设种植土，以便植物分布和生长。

(4) 格宾石笼驳岸主要优势：

- a. 基础简单，制作方便，成本较低；
- b.种植植物可提高水体整体景观效果。

3、复合材料植生驳岸

(1) 复合材料植生驳岸由人工合成复合土工材料、种植土以及植物组成。

(2) 复合土工材料固土护坡，保持水土，上层可种植植物，兼顾实用性及美观性。

(3) 常见复合土工材料有土工袋、土工垫、土工格栅等。

(4) 复合材料植生驳岸适用于坡度较低、水流速度较缓的区域，流速一般以 1.5-4.5 m/s 为宜。

4、抛石叠石型驳岸

(1) 由块石堆叠而成。一般由多个块石堆叠，高低起伏，错落有致，形成独特的生态景观。

(2) 一般选用质地坚硬、抗压强度高、石块完整、具有良好的抗水性、抗风化的石块。

(3) 依靠石块自重及错落形成的摩擦力保持结构稳定，抵抗来水冲刷。

(4) 堆叠块石之间应留有空隙，为水生动物及微生物提供生存繁衍的空间。

(5) 抛石叠石驳岸适用于坡度较低、水流速度较缓、石材资源丰富的区域，流速一般以 1.5-4 m/s 为宜。

4.8 生境营造

4.8.1 概述

为保障高内稳型水生态系统实施构建，加强后期系统长效稳定性，丰富水生态系统物种多样性，综合考虑水生态系统的生境营造措施。

4.8.2 底质前处理措施

对底质实施前处理措施，包括福寿螺控制、底质改良活化、底质生态修复等。

4.8.3 外围水系干扰采取措施

对存在外围水系带来的风浪干扰、鱼群干扰、漂浮垃圾干扰、水系汇入干扰等情况，可针对性设置消浪、隔藻、隔鱼、沉沙、拦渣等措施。

4.8.4 鸟类保护采取措施

对有候鸟保护、观鸟区营造等要求水体，因地制宜实施构建生态引鸟设施，包括构建生态小岛、设置引鸟桩、设置浅滩湿地区、设置高植株植被区等措施。

4.8.5 水生动物多样性保护

对系统中鱼群和底栖息类动物进行物种多样性保护，可以设置生态鱼巢、生态鱼道，设置浅滩-深潭底部结构，搭配路生植物-挺水植被-浮叶植物-沉水植被多形态多态位植被群落。

4.9 生态平衡调节

4.9.1 概述

在生态系统初期，生态系统还不稳定，需通过全生态系统平衡调节方式以确保生态系统稳定。

4.9.2 生态平衡调节主要措施

生态平衡调节主要包括水草补种、投放生态净水剂、调控鱼类、水质监测等。

4.10 重要水生生物栖息地与生物多样性保护

4.10.1 概述

重要水生生物栖息地与生物多样性保护的对象主要为濒危、珍稀、特有水生生物，维持其生存繁衍所需的水文、水质、底质、植被等生境条件。包括国家级和地方各级自然保护区、风景名胜区、森林公园、湿地，以及濒危保护鱼类的产卵场、索饵场及越冬场等。

4.10.2 遵循原则

重要生物栖息地保护应遵循系统完整、保护优先、因地制宜、统筹实施的原则。必要时提出需特殊保护方式和保留的水域范围及保护方案。

4.10.3 方案设计

应详尽调查和分析水生生物栖息地具体保护需求、生态本底特征、生物种群历史演替进程、种群现状、区域发展建设现状，结合当地生态规划，科学合理划定水生生物栖息地及生态保护红线，完成生物

栖息地保护与恢复设计。

4.10.4 保护原则

生物多样性保护宜采取就地保护为主、迁地保护为辅的原则，并加强管理，防止外来物种入侵。

4.10.5 重点区域保护

生物多样性保护的重点区域应包括河滩湿地、河岸带、湖滨带等，可通过生态保护红线划定、生态补水、生境恢复、建立缓冲带等技术措施实现保护生物多样性的目标。

4.10.6 功能分区

生物栖息地可水生生物栖息繁衍空间条件及人类活动需求加以改造提升，打造不同功能分区，拓宽有限地域的无限可能。如可划分为禁入保护区、生态保育区、科普游览区等。

4.10.7 优先保护名录

水生生物栖息地的保护设计，应参考当地野生动植物保护名录，结合栖息地的场地条件特征，充分考虑动物的居住及繁衍需求。

4.10.8 防范外来入侵物种

生物栖息地的保护设计要特别警惕外来入侵物种对场地造成的影响。

4.10.9 落实保护职责

建立健全重要水生生物栖息地与生物多样性保护保护机制，严格落实保护的职责要求。

4.10.10 建立应急预案

建立水生生物栖息地应急预案，若遭到大幅破坏需马上修复。

4.10.11 常态化监测与评估

建立水生生物栖息地常态化监测及评估机制，采用数字化互联网等先进技术手段，实时对栖息地内生物活动情况及多样性分布状态进行监测评估，同步动态分析栖息地内情况，必要时可进行一定的人为干预。

4.10.12 科普活动

宜在规划的生物栖息地附近建立科普标识牌，介绍栖息地地理情况、栖息地内生物群落分布、保护生物赋存情况、生物的生活习性等，加强市民游客对生物栖息地及濒危、珍稀、特有水生生物的认知，增强大众保护环境意识。

4.11 生态系统构建与生态修复后健康评价

生态系统构建与生态修复后 3 个月、6 个月、12 个月后，按本指南“6.5 城镇湖泊生态健康评价”对修复区域水体进行综合评价分析，并于实施修复前对比分析。

5 水生态系统修复实施方法

5.1 基本原则

在实施城市景观湖泊高内稳水生态系统修复施工时，应该遵循环境友好、资源最大化、因地制宜、以人为本、污染自纳、宏观调控六大原则。

5.1.1 环境友好原则

按照自然的规律进行生态修复。尊重环境本身的特征，尽量选用本地物种，在尊重自然的同时积极地参与自然，将自然的原则放在首位，再进行人为的参与。在水生态修复时切忌破坏原有生态，不得以破坏生态为代价建立新的生态。

5.1.2 资源最大化原则

开展水生态施工中，所使用的资源包括水电等皆为生态代价，生态代价就是对生态的负担。施工时应遵循资源最大化，尽可能节水、节电、节省人力、节省材料，不造成额外浪费。

5.1.3 因地制宜原则

不同区域具有不同的气候、水文、地貌、土壤条件等地域特征，区域特殊性决定了水生态修复施工时要具体情况具体分析。

5.1.4 以人为本原则

水生态修复施工过程中要充分考虑到施工对周边群众的影响，采取围挡等阻隔措施，降低噪音及扬尘。施工现场不得对群众出行造成影响阻隔。人流集中处可以对围挡适当做美化措施。

5.1.5 污染自纳原则

施工期间产生的废水等污染物不得乱排，严禁污染施工现场周边环境。施工产生的污染物需施工方自行解决，杜绝次生污染。

5.1.6 宏观调控原则

水生态修复施工包括系统治理和整体把握。整体把握意味着考虑到对整体地区生态而非某个局部的影响，宏观规划，精准定位。

5.1.6.1 施工组织计划应考虑湖泊水生态修复材料的季节特性，并做好相应运输存储等工作的时间规划。

5.1.6.2 施工组织计划应考虑台风、汛期、破坏性污染汇入等影响水生态修复进程的风险应急因素并制定相应的预案措施。

5.1.6.3 设计方与施工方应在施工正式开始前召开技术交底会议，包括文件学习、安全教育、技术交底及应急演练等。

5.2 实施细则

5.2.1 施工准备期实施细则

5.2.1.1 施工前应对项目现场进行复核，包括内外污染源、景观湖泊现状、行洪需求、接电点、生活用水水源、施工用水水源等周边情况与边界条件。

5.2.1.2 施工前应根据设计方案及现场实际情况，制定专项施工组织设计，内容涵盖施工计划、措施原则、运维调试等。

5.2.2 施工期实施细则

5.2.2.1 施工步骤严格遵循施工组织计划，按时按质按量完成。

5.2.2.2 施工过程中做好安全文明施工监管，严禁对周边环境及群众造成重大影响。

5.2.2.3 施工期间应对施工进度、质量进行严格把关，严控质量，严把成本。

5.2.2.4 施工期间若发生强降雨等突发状况，应严格按照施工组织计划中的应急预案执行，避免事故影响进一步扩大。

5.2.2.5 因水生态修复工程的特殊性质，施工期与调试期应具有延续性，相应工序或有重复。

5.2.3 调试期实施细则

5.2.3.1 工程由施工阶段过度到调试阶段，应明确工程内容的转变，及时制定调试方案。

5.2.3.2 调试期应做好生态监测及数据记录，关注景观湖泊动态变化，及时对水生态系统作出反应。

5.2.3.3 调试期间若发生强降雨等突发状况，应立即启动应急预案，避免事故影响进一步扩大。

5.3 污染源控制施工方法

5.3.1 概述

针对不同的污染源性质，采取不同的设计方案，对应不同的实施要点。其要点如下：

5.3.2 内源污染控制

5.3.2.1 杂草、建渣、其他垃圾废弃物清理，采取人工清理方式，再集中转运至指定地点统一处理。

5.3.2.2 清鱼主要方式有网捕、干塘和超声波赶鱼等。

(1) 网捕：主要方式有拖网、挂网、刺网等，适用于面积合适且不便干塘的水域，可根据现场实际情况选用捕捞方式。

(2) 干塘：主要方式为将湖水排干后捉鱼，适用于方便排水的湖泊。

(3) 超声波赶鱼：利用超声波将鱼群驱赶至一处或多处集中捕捞，或驱赶至外水域，适用于水域面积大、不便干塘的水域。

5.3.2.3 若湖泊面积较大，可采用降水分区清鱼，提高施工效率及质量。

5.3.2.4 重点控制食浮游动物鱼类、草食性鱼类、底栖性鲤科鱼类等，重点保留土著肉食性鱼种。以抑制浮游植物和沉积物再悬浮，促进浮游动物、水生高等植物为原则，促进湖泊良性生态系统的建立。

5.3.2.5 清杂多采用人工清理，以最小干扰为原则，垃圾、杂物等不可随意堆放，严格按照指定途径、指定地点堆放，定期清理。

5.3.2.6 在进行生态清淤之前，必须进行测试调查淤泥层厚度，统计吸泥工程量。可采用声纳测试仪测试确定湖底的基本地形。

5.3.2.7 根据勘查资料决定清淤深度，若无前期资料，疏浚深度可按 30~100cm。

5.3.2.8 不同的生态清淤疏浚方式各有优势，应根据场地条件、底泥泥质情况及后续出路等因素综合考虑确定。

5.3.2.9 淤泥装运要符合当地有关部门的要求，相关处理需符合有关规定，不可随意处置。

5.3.3 外源污染控制

5.3.3.1 外源污染控制系统应选择适合当地自然生长条件、管理简便、景观效果好的植物，不得选择具有外来入侵风险物种。

5.3.3.2 水生植物应优先选择耐污能力强、抗冻、耐高温、抗病虫害品种。

5.3.3.3 可选择一种或多种植物搭配栽种，根据净化系统种类及水深搭配沉水植物、浮叶植物、漂浮植物及挺水植物，提升净化效率及景观效果。

5.3.3.4 人工湿地填料应为微生物提供良好生境，具有较大的孔隙率及比表面积，具有良好稳定性。

5.3.3.5 人工湿地填料层可根据处理的水质要求，选择碎石、陶粒、沸石等。

5.3.3.6 生物填料应具有易挂膜、稳定性高、耐氧化、价格经济、安装方便等特点。

5.3.3.7 净化湿地施工建设时，应先进行防渗处理。防渗处理措施应根据项目现场实际情况，结合经济、工期等因素决定。

5.3.3.8 净化湿地防渗措施下基础应碾压平整、平实、无松土，表面无数值、碎石等尖锐物。

5.3.3.9 采取生态稳定塘技术时，宜预留增氧曝气设备，应对夏季高温等突发情况。

5.3.3.10 外源污染控制若采用设备，应充分考虑净化设备在采购、运输、安装、调试、运维过程中产生的噪音对周边的影响。设备安装方式由工况决定。

5.4 鱼类初期调控方法

5.4.1 鱼类初期调控方式

主要包含干塘、网捕和超声波赶鱼 3 种方式，将野杂鱼类进行转移，禁止通过投放危害水生态系统的药剂直接杀害鱼类，加重水体恶臭污染。

5.4.1.1 干塘

主要方式为将湖水排干后人工捕鱼，适用于方便排水、排水量较小的湖泊。

5.4.1.2 网捕

主要方式有拖网、挂网、刺网等，适用于面积合适且不便干塘的水域，可根据现场实际情况选用捕捞方式，如条件允许实施降水再作业效率更高。

5.4.1.3 超声波赶鱼

利用超声波将鱼群驱赶至一处或多处集中捕捞，或驱赶至外水域，适用于水域面积大、不便干塘的水域，一般需结合网捕方式共同完成鱼类初期调控。

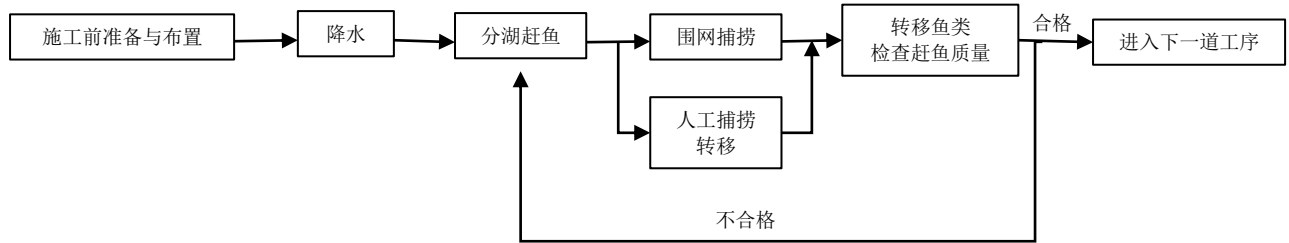


图 2 常见鱼类初期调控实施流程

5.4.1.4 若湖泊面积较大，可采用降水分区清鱼，提高施工效率及质量。

5.4.2 调控重点

重点控制滤食性鱼类、草食性鱼类、底栖性鱼类等，重点保留土著肉食性鱼种。以抑制浮游植物和沉积物再悬浮，促进浮游动物、水生高等植物为原则，促进湖泊良性生态系统的建立。

5.5 水生维管束植物群落构建方法

其要点如下：

(1) 水生维管束植物的选择应该具有以下特性：

- a. 规定规格、种类的优质、生命力强的材料；
- b. 不得携带影响植物生长的致病菌；
- c. 所选相关材料具有一定的耐寒耐高温能力。

(2) 因水生植物容易受损，运输前应出具运输方案，避免在运输的过程中水生植物出现损伤、死亡，造成不必要的经济损失。

(3) 水生植物进场前，需对产品的质量及规格进行检验，不符合要求的一律不允许进场。

(4) 材料进场时，施工方及监理应检查水生植物数量，并按施工平面布置图选定位置堆放，不可随意放置。

(5) 水生植物采购到现场后，若不能立即将全部苗种进行种植，需采取相应保护措施，防止水生植物因失水干枯等降低成活率。

(6) 沉水植物种植根据现场环境及工况，可选择插秧或抛秧的方式进行，种植位置及密度严格按照施工图纸实施。

5.5.1 高内稳型沉水植物群落构建要点

沉水植物植株栽植方法主要分为：人工插植法、抛掷法、悬挂栽植法、插杆种植法、容器种植法五种方式为主，其中人工插植法，在水草存活率、水质调试便捷性、养护便捷性、系统稳定性、抗冲击负荷效能、美观性等诸多方面具有十分显著优势。

人工插植法，须将水体水深调控至 0.3m 以内，且淤泥深度不超过 0.5m 为宜，由人工进行单株或多株进行苗种插植。该栽植方式主要涉及 3 个关键环节，调控水深、人工分拣植株、人工插植。由于沉水植物多株植株在移栽后第一周到第三周内常见部分植株或断植凋亡分解现象，约占生物量的 20-30%，尤其是苦草、刺苦草、眼子菜等，再重新单株新芽分散式破土而出。充分考虑沉水植物群构建的过程特征，考虑沉水植物分蘖、分枝特性，本工程设计单株人工插植法，以确保植株的存活率和减缓植株凋亡分解释放营养盐现象。

沉水植物单株人工插植法实施工艺：

- 1) 沉水植物运抵现场后，人工分拣出带根植株，根须不低于 1 根（最短根须不低于 1cm 为宜），茎叶不低于 2 根（最短茎叶不低于 5cm 为宜），且不存在枯黄现象；
- 2) 单株/单丛人工插植一般采用后退倒插法，即步伐后退栽植；单株插入底泥中 5-10cm，一般以茎叶超 2/3 部位不入泥、根须全部入泥且整株不上浮为准；
- 3) 单株/单丛横向、纵向间距以 5-20cm 为宜，预留植株分蘖、分枝空间；间距超过 20cm，一般采取人工插植或抛掷补种方式进行二次栽植；
- 4) 栽植过程中出现断根植株需替换剔除；出现茎叶断植，打捞即可。

A1 插秧种植

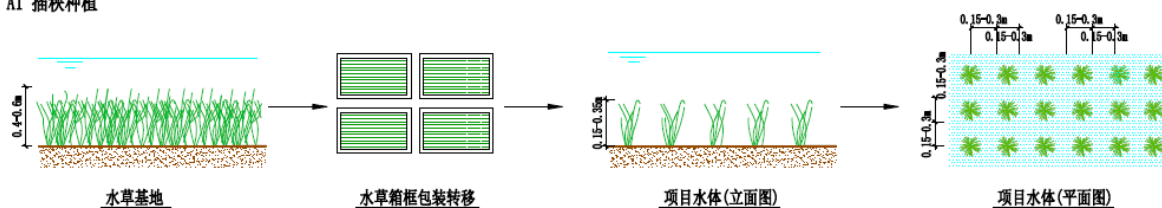


图 3 沉水植物种植大样图

5.5.2 浮叶植物群落构建要点

5.5.2.1 浮叶植物的种植方式

应根据施工设计要求进行，同时要满足不同水体景观和不同水生植物生长习性的要求，由于浮叶植物需扎根于土壤中，因此主要有自然式种植、容器种植、种植槽种植及浮岛种植、抛掷法等。

(1) 自然式种植同沉水植物人工插植法，拥有同样诸多优点。其不同植物其布置方式可根据现场功能或美观性需要进行调整。

浮叶植物单株人工插植法实施工艺：

- 1) 选择植株健壮、新芽饱满、叶色光亮、叶脉清晰、根系完整（最短根须不低于 3cm）、无病虫害、无杂草、的植物；
- 2) 人工插植法同沉水植物，横向、纵向间距通常以 15-40cm 为宜，睡莲类叶片面积大的浮叶植物可为 40-60cm，预留植株分蘖、分枝空间；
- 3) 栽植过程中如出现断根植株则需剔除、替换。

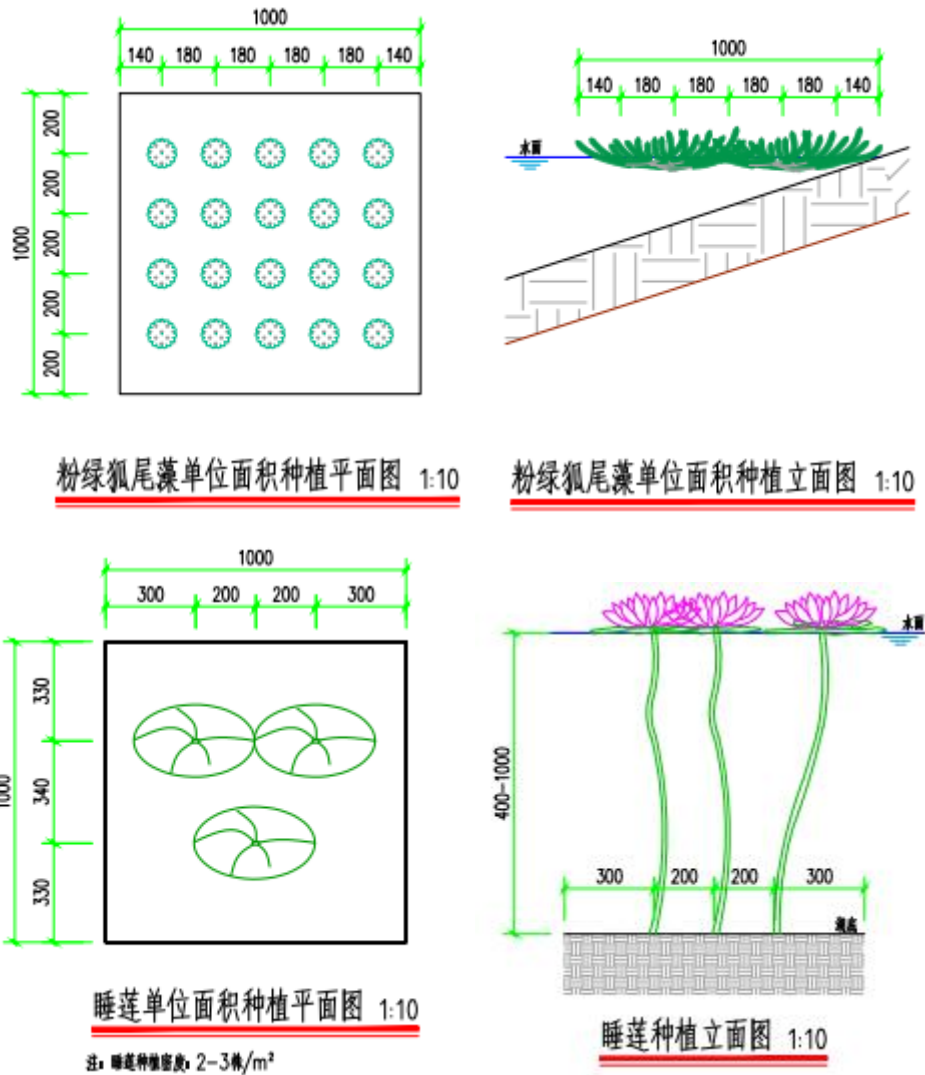


图 4 浮叶植物种植方式示意图

(2) 容器种植

种植容器一般选用木箱、竹篮、柳条筐、种植钵等。将植物种植于容器后，沉于水中即可。

(3) 种植槽种植

在湖底适当水深处建立种植槽，覆种植土后再种植。该方法需预先降水，水深宜不超过 0.8m 为宜。

(4) 浮岛种植

主要将植物种植于浮床上，且能保证一定的抗冲击能力。

(5) 抛掷法

直接将植物根部绑重坠如石块、石笼、混凝土块等，抛掷于湖泊中，使其自然着根生长。抛种后一周内水位不宜超过 1.2m。

5.5.2.2 浮叶植物应根据茎的长短调整水深，使叶片能自然浮于水面即可，栽植期间水深不超过 1.0m。

5.5.3 漂浮植物群落构建要点

5.5.3.1 漂浮植物根系无需于土壤中，因此主要种植方式为抛掷法等。

5.5.3.2 抛掷法同浮叶植物，不受水深限制，但由于其生长速度快、易流动性等特点，需警惕其泛滥对水生态系统产生干扰。

5.5.4 挺水植物群落构建要点

5.5.4.1 挺水植物一般可以采用裸根幼苗移植、收割大苗移植以及盆栽移植方法栽种。种植水深一般不宜超过 0.3m。种植间距根据植株成熟后大小及其繁殖进行合理选择，通常为 0.5-2.0m。芦苇、香蒲等能适应较深的水深，最深可达 1.0m。

5.5.4.2 水生态系统修复中常用方式为裸根幼苗移植，选择根茎叶情况良好、根系发达、株高合适、无病虫害的植株，放入预先刨好的种植穴中，扶直覆土即可。

5.6 藻类控制方法

5.6.1 藻类控制方法

参照本规程章节 4.4.5。

5.6.2 采用微生物菌剂进行藻类控制时

5.6.2.1 严格根据设计要求稀释拌匀泼洒，泼洒过程中应多人、同时、分区、均匀进行，确保达到设计效果。最佳泼洒时间为上午 10 时左右。

5.6.2.2 配合措施根据设计微生物菌剂类型，如使用好氧类微生物制剂时，必须进行增氧；使用干粉类微生物菌种，则需用合适容器将菌种加水搅拌激活 3~4 小时后再进行泼洒。

5.6.2.3 在泼洒微生物菌剂前后 3~7 天，水体内不得使用化学药剂或茶麸等具有杀菌杀毒作用物品，并保持一定水位，尽量做到不排（进）水。

5.6.3 投放枝角类大型溞进行藻类控制时

在投放前、运输至场内过程中充氧包装，待多人分区到指定投放点后，再解开包装投放。投放食藻虫期间，合理调控系统内鱼类虾类种群，避免滤食性鱼虾出现应激反应。

5.6.4 采用人工或机械打捞方式进行藻类控制时

可分区单方向打捞完毕后再调头单方向打捞另一侧，反复进行，直至打捞完成。打捞叶面上附着藻类时，主要由人工配合工具进行，注意尽量避免伤害植物茎叶。

5.6.5 采用遮光方式进行藻类控制时

可通过工具或设备将藻类搅至水面下，再种植成片或大面积的浮叶/漂浮植物，形成遮光效果。

5.6.6 采用投加腐殖酸钠或调整 pH 值方式进行藻类控制时

同本规程章节 4.4.5。

5.6.7 以上方式可根据现场情况联合使用。

5.7 水体透明度提升方法

5.7.1 采用物理法时

设备到场后需检查“三证”，同时进行外观检查，安装需严格按图施工，如需土方开挖用于设备场地，则需考虑土方平衡及土方外运。

5.7.2 采用化学法或生物法中微生物时

同本规程章节 4.4.6。

5.7.3 采用生物法中大型溞时

同本规程章节 4.4.6。

5.8 水生动物群落结构优化方法

5.8.1 水生动物进场后

需检查其成品品种、数量及规格，选用外观良好无损伤，行动较为活跃，无疾病的水生动物。

5.8.2 水生动物投放前

需进行清洗消毒，以防携带的杂物或其他病虫害等。

5.8.3 水生动物到达项目现场后

应立即检查水生动物存活情况，确认无异常后，对水生动物进行消毒处理：在充气运输车箱内或池塘集鱼网箱内，用 0.5% 的食盐水对即将投放的水生动物进行病害处理 30 分钟。

5.8.4 水生动物进场清洗后

一般要在目标水体沿岸驯养 3-7 天，以便其适应水环境。水生动物放养前，确保项目水域中无其他天敌性水生动物，且放养时轻拿轻放，确保水生动物不受到任何损伤。

5.8.5 投放方法

同本规程 4.4.7。

5.9 水质生态净化方法

5.9.1 采用微生物净化或降磷措施时

主要激活土著微生物的作用，然后通过投放微生物菌剂或环保性试剂的方式，其施工方法同本规程 5.6.2。

5.9.2 采用增氧措施时

可通过设备增氧或试剂增氧。前者到场后需检查“三证”试用通过，根据不同增氧设备进行安装固定、调试完成后方可投入使用；后者使用前需检查有效期限及效果，严格根据设计量进行设置。

5.10 水生态系统调试

5.10.1 水生态系统调试阶段

水生态系统构建完成后，建立稳定水生态系统，主要包含水生动植物调控、水质调控。施工后期的

主要工作包括观察水生植物、水生动物以及水质的变化情况，根据需要随时调控生态系统的结构，使其达到最优化。

5.10.2 水质调试

主要包含藻类控制和透明度提升措施，具体方法参照本规程章节 4.4.5、4.4.6。

5.10.3 水生动植物调控

主要包含水生植物补种、水生动物补投，通常通过抛掷法进行，建立水生植物群落及食物链。水生动物建议轮捕轮放。

5.11 水质监测实施方法

5.11.1 水质监测实施必要性

5.11.1.1 在施工期间，需要定时对水质进行采样、监测、分析，并根据水质指标变化制定相应处理措施，确保修复水体水质指标达到要求。

5.11.1.2 水质监测主要指标：透明度 SD、溶解氧 DO、化学需氧量 COD_{Cr}、高锰酸盐指数 COD_{Mn}、氨氮 NH₃-N、总磷 TP、总氮 TN、叶绿素、pH 等。

5.11.2 水质监测方式

水质监测主要利用实验室监测分析，辅以便携式现场快速监测为辅助手段的现场监测、常规监测与应急监测相结合的监测方式。

5.11.3 水质监测点位及频次

5.11.3.1 现场监测即可实时在线监测，也可根据需要自行设定。施工期间水质指标监测的频次可按每半月或一月一次，运维期间水质指标监测的频次，人工取样检测可按每月一次，实施在线监测可按每日或每周一次。

5.11.3.2 水质监测点位在总体和宏观上应能反映水系或区域的水环境质量状况。各点位的具体位置应能反映所在区域环境的污染特征，尽可能以最少的点位获取足够代表性的环境信息。

5.11.4 水质监测指标及方法

水质监测指标及方法如附表 C.1。

5.11.5 水质监测信息化系统实施

根据目标水体特征，结合水质信息化现状，从样品采集、信息采集、数据传输、水质信息应用、运管措施 5 个方面开展水质监测信息化建设。重点围绕入湖口、湖中央、湖泊出水口、特征区位 4 个位置，完善监测站网，加强自动监测和移动监测站网建设来提高样品和信息采集。组建水质专用网络来实现水质数据传输；通过加强水质监测信息管理、目标湖泊水质遥感监测、自动站及移动实验室管理系统建设，推广水质信息化应用并更好的服务于湖泊运维管理。

5.12 实施期间巡视方法

5.12.1 施工期间巡查方式

分为日常巡查、定期巡查、特殊巡查、专项巡查，巡查主要为水上作业、水中作业、岸上作业及岸上巡视作业四种形式。

5.12.2 施工期间巡查频率

日常巡查为项目例行巡查，巡查频率为每次 1-2 次，定期巡查每 10-15 天一次，特殊巡查主要针对暴雨期，期间巡查频率会比较高，根据现场情况甚至可能每天几次巡查。专项巡查，主要针对水生态容易集中爆发且影响较大的问题，做专项巡查。

5.12.3 施工期间巡视作业详细操作内容

施工期间巡视作业方式详细操作内容见下表。

表 10 实施期间巡视作业方式

序号	分项	水上作业	水中作业	岸上作业	岸上巡视作业
1	操作方式	人工行船作业	穿水鞋或下水衣作业	步行及电动三轮	步行及电动三轮
2	作业内容	主要的维护作业形式，垃圾打捞，水面保洁，系统维护，设施维护清扫	带水补再水草，挺水植物配置以及其他水下作业内容	搬运垃圾、水草等物料、以及其他岸上作业内容	日常各设施、节点巡视
3	注意事项	严禁雷雨期间作业	严禁雷雨期间作业	周围环境卫生的维护，且尽岸上作业尽量减少对周围群众活动的影响	注意行车安全，行车路线遵守管理处规定
4	其他	主要的作业形式	阶段性的作业形式	必有的作业形式	日常作业形式

6 城镇湖泊水生态健康评价方法

参考《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》。

6.1 水环境评价

6.1.1 水质评价

水质指标的评价参照《地表水环境质量标准》（GB 3838），根据不同功能分区水质类别的标准限值，进行单因子评价（其中水温和 pH 不作为评价指标）。水质类别等级的划分参照《地表水环境质量评价办法》（环办〔2011〕22 号）中湖泊、水库水质评价方法，并根据水质类别等级进行赋分。

6.1.2 营养状态评价

湖库营养状态评价以综合营养状态指数(TLI)进行评价，具体方法见本章程 3.1.1。

湖库营养状态分级标准及赋分见下表。

表 11 湖库营养状态分级标准及赋分表

营养状态	贫营养	中营养	轻度富营养	中度富营养	重度富营养
评价标准	TLI (Σ) <30	30 ≤ TLI (Σ) ≤ 50	50 < TLI (Σ) ≤ 60	60 < TLI (Σ) ≤ 70	TLI (Σ) >70
赋分	5	4	3	2	1

6.2 生境评价

按照《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》“6 生境调查”中生境调查方法获得生境监测数据，对“生境评价数据表”（附表 D.2）10 项参数分别进行评分，每项参数分值范围为 0~20，划分为五个评价等级。每个点位的生境总分（H）由 10 项参数分值累加计算，分级评价标准见下表。生境评价仅适用在湖滨点位，湖心点位暂不纳入评价。

表 12 生境评价等级及赋分表

生境等级	优秀	良好	一般	较差	很差
评价标准	H>150	120<H≤150	90<H≤120	60<H≤90	H≤60
赋分	5	4	3	2	1

6.3 生物评价

按照《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》“7.1 底栖动物”“7.2 浮游植物”和“7.3 浮游动物”要求进行监测区域样品中底栖动物、浮游植物和浮游动物定性、定量采集和鉴定分析，并记录分析数据。以下推荐的生物评价方法在我国生物监测中经常用到，建议选择其中一种或几种评价方法对监测湖库进行评价。如在监测实践中已有比较成熟的方法，可参考指南中评价方法选择路线要求，满足要求可继续沿用。

6.3.1 评价方法

6.3.1.1 多样性指数

1、香农-维纳多样性指数（Shannon-Wiener）

香农-维纳多样性指数结果按照公式（17）计算：

$$H = -\sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N}\right) \quad (17)$$

式中， H ——香农-维纳多样性指数；

n_i ——种 i 的个体数；

N ——生物总体个数；

S ——物种数。

2、均匀度指数（Evenness）

均匀度指数结果按照公式（18）计算：

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (18)$$

式中， J ——均匀度指数；

H ——香农-维纳多样性指数；

S ——物种数。

多样性指数评价按照下表进行。

表 13 多样性指数评价分级

指数	很差	较差	中等	良好	优秀
香农-维纳多样性指数	$H = 0$	$0 < H \leq 1$	$1 < H \leq 2$	$2 < H \leq 3$	$H > 3$
均匀度指数	$J = 0$	$0 < J \leq 0.3$	$0.3 < J \leq 0.5$	$0.5 < J \leq 0.8$	$0.8 < J \leq 1$

6.3.1.2 耐污指数

1、BI 生物指数

BI 生物指数结果按照公式 (19) 计算：

$$BI = - \sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N} \right) \times t_i \quad (19)$$

式中， t_i ——种 i 的耐污值，建议值见附表 B.1；

n_i ——种 i 的个体数；

N ——生物总体个数；

S ——物种数。

2、BMWP 指数

BMWP 指数结果按照公式 (20) 计算：

$$BMWP = \sum F_i \quad (20)$$

式中， F_i ——科 i 的敏感值，推荐值见《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》附表 A.1。

BI 生物指数和 BMWP 指数的评价标准见下表所示。

表 14 耐污指数评价分级

指数	很差	较差	中等	良好	优秀
BI 生物指数	$8.8 < BI$	$7.7 < BI \leq 8.8$	$6.6 < BI \leq 7.7$	$5.5 < BI \leq 6.6$	$BI \leq 5.5$
BMWP 指数	$BMWP \leq 10$	$11 \leq BMWP < 22$	$22 \leq BMWP < 32$	$32 \leq BMWP < 43$	$43 \leq BMWP$

3、生物完整性指数 (IBI)

IBI 的构建包括参照状态的确定、建立候选参数清单、核心参数的筛选、指数计算、评价及验证等一般性流程，具体步骤见《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》附录 C。

6.3.2 水生生物指标赋分标准

按照不同生物评价指数的计算结果，将生物评价结果划分为五个评价等级，赋分标准参照下表。

表 15 水生生物指标评价等级及赋分

BMWP 记分值	BI 生物指数	香农-维纳多样性指数	均匀度指数	IBI	水质状况	赋分
43≤BMWP	5.5≤BI	H>3.0	0.8<J≤1	优秀	优秀	5
32≤BMWP<43	5.5<BI≤6.6	2<H≤3	0.5<J≤0.8	良好	良好	4
22≤BMWP<32	6.6<BI≤7.7	1<H≤2	0.3<J≤0.5	中等	中等	3
11≤BMWP<22	7.7<BI≤8.8	0<H≤1	0<J≤0.3	较差	较差	2
BMWP≤10	8.8<BI	H=0	J=0	很差	很差	1

6.4 水生态环境质量综合评价

6.4.1 评价方法

采用综合指数法构建水生态环境质量综合评价指数 WEQI_{lake}，以该指数表示各评估单元和水环境整体的质量状况。水生态环境质量综合评价指数 WEQI_{lake} 按照公式（21）计算：

$$WEQI_{lake} = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (21)$$

式中，WEQI_{lake}——湖库水生态环境质量综合评价指数；

x_i ——评价指标分值； w_i ——评价指标权重。

综合评价时暂时考虑水化学指标、底栖动物指标、浮游植物和浮游动物指标，其分值范围及建议权重见下表所示。

表 16 湖库水生态环境质量综合评价公式说明表

指标	分值范围	湖泊建议权重	水库建议权重
水化学指标 ^a	1~5	0.4	0.6
水生生物指标 ^b	1~5	0.4	0.4
生境指标 ^c	1~5	0.2	/

注：a 水化学指标赋分取水质评价和营养状态评价中赋分最低的一项作为赋分结果。b 水生生物指标若单独用底栖动物、浮游植物或浮游动物评价，建议权重为 0.4；若同时使用 2 种及以上生物类群评价，建议采用最差评价结果代表水生生物评价结果，深水湖泊和水库建议优先选择浮游植物和浮游动物评价结果。c 湖心点位因其不作生境评价，进行水生态环境质量综合评价时只考虑水化学指标和水生生物指标即可，这两项指标建议权重分别为 0.5。

6.4.2 评价标准

根据湖库水生态环境质量综合评价指数 (WEQI_{lake}) 分值大小，将水生态环境质量状况等级分为五级，分别为优秀、良好、一般、较差和很差等，具体指数分值和质量状况分级详见下表。

表 17 水生态环境质量状况分级标准

水生态环境质量状况	优秀	良好	中等	较差	很差
综合指数 (WEQI _{lake})	WEQI>4	4≥WEQI>3	3≥WEQI>2	2≥WEQI>1	WEQI≤1
表征颜色	蓝色	绿色	黄色	橙色	红色

6.5 城镇湖泊生态健康评价

6.5.1 城镇湖泊生态健康综合评价公式

表 18 城镇湖泊生态健康综合评价公式说明表

要素	分值范围 x_i	建议权重 w_i
物理化学指标	1~5	0.1
水环境指标	1~5	0.3
生物指标	1~5	0.4
人体健康指标	1~5	0.2

6.5.2 物理化学指标评价等级及赋分

表 19 物理化学指标评价等级及赋分

自然岸线保有率	≥90%	90%~50%	50%~20%	<20%
单项赋分	5	4~3	2~1	0
湖泊面积萎缩比例	≤5%	5%~10%	10%~30%	>30%
单项赋分	5	4~3	2~1	0
透明度 (单位 m)	SD≥2	2>SD≥1.2	1.2>SD≥0.3	<0.3
单项赋分	5	4~3	2~1	0
水色	蓝色	绿色	黄色	橙色
单项赋分	5	4~3	2~1	0
综合赋分 X_1				

注：若实际水深低于透明度，达到清澈见底，可得 5 分；单项综合赋分为自然岸线保有率、湖泊面积萎缩比例、透明度与水色赋分平均值。

6.5.3 水环境指标评价等级及赋分

表 20 水环境指标评价等级及赋分

水质	I、II	III类	IV类	V	劣V
单项赋分	5	4	3~2	1	0
湖泊营养状态指数	<30	30~50	50~60	60~70	>70
单项赋分	5	4	3~2	1	0
自净能力 (溶解氧浓度 mg/L)	饱和度≥90% (或≥7.5)	7.5~5	5~3	3~2	<2
单项赋分	5	4	3~2	1	0
综合赋分 X_2					

6.5.4 水生生物指标评价等级及赋分

水生生物指标选择水生植物、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物、鱼类、外来入侵等六项大指标进行综合评分，具体评价指标及赋分如下表所示。

表 21 水生生物指标评价指标及赋分

水生植物	沉水植物覆盖度	≥80%	60%~80%	30%~60%	10~30%	<10%
	赋分	5	4	3	2	1
	浮叶植物覆盖度	≤10%	10%~12.5%	12.5%~15%	15%~17.5%	>17.5%
	赋分	5	4	3	2	1
	挺水植物覆盖度	≤5%	5%~7.5%	7.5%~10%	10%~12.5%	>12.5%
	赋分	5	4	3	2	1
A 单项综合赋分						
浮游植物	叶绿素 a 浓度 (μg/L)	≤4	4~10	10~26	26~150	>150
	赋分	5	4	3	2	1
	B 单项综合赋分					
浮游动物	指示物种	出现大型枝角类等有益物种		出现轮虫类等小型化物种		
	赋分	5		0		
	C 单项综合赋分					
大型底栖动物	虾螺贝等	3 种以上	3 种	2 种	1 种	无
	赋分	5	4	3	1~2	0
	D 单项综合赋分					
鱼类	总生物量 (kg)	10~30		30~40		>40 或 <10
	肉食性鱼类占比	≥30%		≥30%		/
	赋分	5		3		1
	E 单项综合赋分					
外来入侵	入侵物种	福寿螺	狐尾藻	水葫芦	水花生	雀鳝等
	赋分	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
	F 单项综合赋分					
综合赋分 (X₃)						

注：若发现其它入侵物种，发现一项，扣 0.5 分。

6.5.5 人体健康指标评价等级及赋分

表 22 人体健康指标评价等级及赋分

重金属 (Hg) (μg/L)	<0.5	0.5~1	1~5	5~10	>10
赋分	5	3	0	-3	-5
藻毒素 (μg/L)	<0.1	0.1~0.3	0.3~1	1~5	>5
赋分	5	3	0	-3	-5
综合赋分 (X₄)					

6.5.6 城镇湖泊生态健康综合评价分级标准

表 23 城镇湖泊生态健康综合评价分级标准

健康状况	非常健康	健康	亚健康	中度受损	重度受损
健康指数 (CAI)	$CAI \geq 4$	$4 > CAI \geq 3$	$3 > CAI \geq 2$	$2 > CAI \geq 1$	$CAI < 1$

CAI 其值为物理化学指标、水环境指标、水生生物指标、人体健康指标等 4 项指标加权求和，构建综合评价指数 CAI 进行计算。城镇湖泊生态健康综合评价指数 (CAI) 计算公式如下：

$$CAI = \sum_{i=1}^n x_i w_i$$

其中，CAI 表示城镇湖泊生态健康综合评价指数， x_i 指评价要素综合赋分， w_i 指评价要素权重。

附录 A

术语解释及补充

A.1 水生维管束植物

挺水植物 (emergent plants) 是指根或根茎生于水体底泥中, 茎、叶等植物体上部挺出水面的类群。常见种类有芦苇、千屈菜、香蒲等。

浮叶植物 (floating-leaved plants) 是指根生于水体底泥中, 叶具长柄浮于水面之上的植物。常见种类有菱、睡莲、水葵等。(为常识性内容, 建议列入附录)

漂浮植物 (floating plants) 指根系退化悬于水中或完全没有根, 整个植物体完全漂浮于水面上的类群。常见种类有浮萍、凤眼莲、满江红等。

沉水植物 (submergent plants) 是指根生于底泥中或漂浮在水中, 整个植物体完全沉没于水中, 水下开花或花期少部分茎叶伸出水面的类群。常见的种类有苦草、狐尾藻、黑藻等。

A.2 水体污染源

水体外源污染 (water external pollution) 指来自水体系统外部的污染, 它包括上游来水、地表径流、沿岸排水、降雨降尘及被丢弃入水体的垃圾等。

水体内源污染 (water internal pollution) 指来自水体系统内部的污染, 其主要是由进入水体的物质通过各种物理、化学和生物作用, 逐渐沉降于水体底质表层, 当累积到一定量后再向水体释放, 所造成的污染, 包括底泥释放、水体内水生动物排泄物、水生动植物残体等。

A.3 生态系统健康评价方法

指示物种法是指依据生态系统的**关键种**、**特有种**、**指示种**、**濒危种**等的数量、生产力、结构功能指标来间接判断生态系统健康程度的方法。指标体系法是指根据生态系统的特征及其服务功能建立指标体系进行定量评价, 选取的指标既包括生态系统的结构、功能和过程指标、社会经济和景观格局、土地利用等指标, 能够清晰描述生态-社会过程的复杂特征的方法。

A.4 生态系统修复目的及目标

水生态系统修复目的是通过模仿一个自然的、可以自我调节的并与所在区域完全整合的系统, 从而最大限度地减缓水生生态系统的退化, 使系统恢复或修复到可以接受的、能长期自我维持的、稳定的状态水平, 通常不可能也没有必要使已经退化的水生生态系统退回到原始的状态。事实上, 水生态系统的修复是一个整体的过程, 并不能通过单一要素的孤立操作来完成, 需要在一个同等的水平上考虑所有主要的生态要素。

生态修复的核心和最终目标是整个生态系统的恢复。这与生物修复有所不同。生物修复主要针对受污染的水、土壤或空气, 利用生物的方法去除、减少或降解污染物。由此可见, 生物修复可以看作生态恢复的一部分。

附录 B

水生态系统修复设计常用表格

表 B.1 水生维管束植物种类

植物种类	描述	主要作用	搭配要点	代表物种
沉水植物	植物体全部位于水层下面营固着生存的水生维管束植物。	构建湖泊水生态系统核心和寄出；光合产氧、深度吸收水体中的营养物质	考虑季节性种类搭配，防止部分种类泛滥	苦草、刺苦草、金鱼藻、轮叶黑藻、穗花狐尾藻、眼子菜等
漂浮植物	根不着生在底泥中，植物体漂浮在水面上的一类浮水植物。	高效吸收污染物质和促进悬浮物生态截留和沉淀	宜采用圈养、浮岛等控制性设计，防止蔓延或水力冲刷至下游	粉绿狐尾藻、水鳖等
浮叶植物	生于浅水中，根长在水底土中的植物，无明显的地上茎或茎细弱不能直立，叶片漂浮于水面上。	促进悬浮物沉淀和减缓藻类滋生，营造多样生态位，营造水景观	避免在受风浪影响较大的区域设计，适合在亲水平台、桥梁两侧等区域配置。	睡莲、萍蓬草、芡实、荇菜、菱角等
挺水植物	植物的根、根茎生长在水的底泥之中，茎、叶挺出水面。	截流地表径流，营造水景观，为水禽提供繁殖、栖息场所	前景植物低矮，背景植物高，数量不宜过多而遮挡水面视线	美人蕉、菖蒲、香蒲、再力花等

表 B.2 常见沉水植物

序号	中文名	拉丁名	科名	生活习性	种植带
1	苦草	<i>Vallisneria spiralis</i>	水鳖科	沉水	水域内
2	轮叶黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	水鳖科	沉水	水域内
3	刺苦草	<i>Vallisneria spiralis</i>	水鳖科	沉水	水域内
4	金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	金鱼藻科	沉水	水域内
5	竹叶眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>	眼子菜科	沉水	水域内
6	光眼眼子菜	<i>Potamogeton lucens</i>	眼子菜科	沉水	水域内
7	微齿眼子菜	<i>Potamogeton maackianus</i>	眼子菜科	沉水	水域内
8	篦齿眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i>	眼子菜科	沉水	水域内
9	菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	眼子菜科	沉水	水域内
10	小茨藻	<i>Najas minor</i>	茨藻科	沉水	水域内
11	大茨藻	<i>Najas marina</i>	茨藻科	沉水	水域内
12	东方茨藻	<i>Najas orientalis</i>	茨藻科	沉水	水域内

表 B.3 常见浮叶植物

序号	中文名	拉丁名	科名	生活习性	种植带
1	睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	睡莲科	浮水	水域内
2	荇菜	<i>Nymphoides peltatum</i>	龙胆科	浮水	水域内
3	芡实	<i>Euryale ferox</i>	睡莲科	浮水	水域内
4	野菱	<i>Trapa incisa</i>	菱科	浮水	水域内
5	水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>	水鳖科	浮水	水域内
6	蘋	<i>Marsilea</i>	蘋科	浮水	水域内

表 B.4 常见挺水植物

序号	中文名	拉丁名	科名	生活习性	种植带
1	再力花	<i>Thalia dealbata</i>	竹芋科	挺水	驳岸边坡
2	莲	<i>Nelumbo nucifera</i>	睡莲科	挺水	驳岸边坡
3	黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	鸢尾科	挺水	驳岸边坡
4	梭鱼草	<i>Pontederia cordata</i>	雨久花科	挺水	驳岸边坡
5	千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>	千屈菜科	挺水	驳岸边坡
6	狭叶香蒲	<i>Typha angustifolia</i>	香蒲科	挺水	驳岸边坡
7	东方香蒲	<i>Typha orientalis</i>	香蒲科	挺水	驳岸边坡
8	泽苔草	<i>Caldesia parnassifolia</i>	泽泻科	挺水	驳岸边坡
9	泽泻	<i>Alisma plantago-aquatica</i>	泽泻科	挺水	驳岸边坡
10	慈菇	<i>Sagittaria trifolia</i>	泽泻科	挺水	驳岸边坡
11	芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	挺水	驳岸边坡
12	茭白	<i>Zizania latifolia</i>	禾本科	挺水	驳岸边坡
13	花叶芦竹	<i>Arundo donax</i>	禾本科	挺水	驳岸边坡
14	芦苇	<i>Phragmites australis</i>	禾本科	挺水	驳岸边坡
15	水竹叶	<i>Murdannia triquetra</i>	鸭跖草科	挺水	驳岸边坡
16	旱伞草	<i>Cyperus involucratus</i>	莎草科	挺水	驳岸边坡
17	水葱	<i>Scirpus validus</i>	莎草科	挺水	驳岸边坡

附录 C

水生态系统健康评价常用表格

表 C.1 水质监测指标及方法

水质指标	监测方法	方法依据
水温	温度计	GB 13195-1991
pH 值	pH 测定仪	《水和废水监测分析方法》
溶解氧 (DO)	电极法	HJ 506-2009
高锰酸盐指数 (COD _{Mn})	高锰酸钾氧化法	GB 11892—89
化学需氧量(COD _{Cr})	重铬酸盐法	HJ 828-2017
五日生化需氧量	稀释与接种法	HJ 505-2009
氨氮 (NH ₃ -N)	纳氏试剂比色法	GB 7479-87
总磷 (TP)	钼酸铵分光光度法	GB 11893-89
总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636-2012
叶绿素	分光光度法	HJ 897-2017
透明度 (SD)	塞氏盘法	《水和废水监测分析方法》第四版

表 C.2 水质理化指标评价等级及赋分

水质类别	I ~ II类	III类	IV类	V类	劣V类
水质状况	优	良好	轻度污染	中度污染	重度污染
赋分	5	4	3	2	1

表 C.3 常见水生生物指数评价法适用性

方法	适用性	适用生物类群
BMWP 指数	利用底栖动物的定性监测数据, 从不同类群底栖动物对有机污染的耐受性对进行水环境质量进行评价。评价标准适用于浅水湖泊、湖滨带、库滨带。	底栖动物
BI 生物指数	利用底栖的定量监测数据和各分类单元耐污值数据, 从不同类群底栖动物对有机污染的耐受性对水环境质量进行评价。评价标准适用于浅水湖泊、湖滨带、库滨带。	底栖动物
Shannon-Wiener 香农-维纳多样性指数	利用水生生物定量监测数据, 从物种多样性角度对水环境质量进行评价。	底栖动物、浮游植物和浮游动物、水生维管束植物
Evenness 均匀度指数	利用水生生物定量监测数据, 从物种多样性角度对水环境质量进行评价。	底栖动物、浮游植物和浮游动物、水生维管束植物
生物完整性指数 (IBI)	利用水生生物定量监测数据, 从生物完整性角度在全湖库区域开展水生态环境质量评价。	底栖动物、浮游植物和浮游动物

《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南（征求意见稿）》

编制说明

《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南》

标准编制组

二〇二二年十一月

目 录

1	项目背景	1
1.1.	任务来源	1
1.2.	工作过程	1
2	标准制修订的必要性分析	2
2.1	城镇景观湖泊水生态面临的问题	2
2.2	城镇景观湖泊水生态的主要污染源.....	2
2.3	环保标准及工作要求	3
3	国内外相关标准及文献研究	3
3.1	常见水生态修复技术	3
3.2	国内外相关技术标准文献情况	3
3.3	本标准的制定及其与国内外相关标准的关系.....	4
4	标准制修订的基本原则和技术路线	5
4.1	标准制修订的基本原则	5
4.2	标准制修订的技术路线	5
5	标准的技术内容	6
5.1	标准的适用范围	6
5.2	标准的结构框架	7
5.3	术语与定义	7
5.4	关键技术内容说明	9
6	与开题报告的差异说明	10
7	标准征求意见稿技术审查情况	11
8	实施本标准的建议	11
9	标准征求意见情况（送审稿增加内容）	11
10	参考文献	11

编制说明

1 项目背景

1.1. 任务来源

城市“因水而生，因水而兴”，城市水体作为城市健康发展的“重要标识”，一直倍受重视，特别是当前国家“十四五”发展规划中提出的“有河要有水，有水要有鱼，有鱼要有草，下河能游泳”的工作要求，城市水体不仅需要进一步提升水环境质量，而且更要注重生物链构建和生态系统长效维护，突出体现在“清”、“洁”、“生物”和“长效维护”等方面。现有的治水技术多针对地表水环境质量标准，以河湖水的“洁”（有机物及氮磷和溶解氧等指标）作为主要目标，对景观河湖的“清”（透明度）关注不够。生物不仅富裕水体生机，而且生物链具有净化污染、修复生态等功能。城市水体不仅需要进一步提升水环境质量，而且更要注重其健康生态系统的长效维护，这些对现有的城镇湖泊修复技术提出了更高的要求。

随着我国治水的深化推进，水生态修复进入进度快速高质量发展阶段。但“重建轻管”的问题在各地十分普遍，不仅制约生态修复应有功能的发挥，而且会对水质改善造成负面影响。因此，开展城镇湖泊健康水生态系统构建与生态修复研究及示范对于实现国家中长期治水目标和践行“城市让生活更美好”宗旨都具有重要意义和价值。

2021年12月10日，上海市环境科学学会发布《关于〈城镇湖泊健康水生态系统构建与生态修复指南〉团体标准的立项公告》，确定主要起草单位为上海太和水科技发展股份有限公司，协作起草单位为上海海洋大学、华东师范大学、上海市水利工程设计研究院有限公司、南京市市政设计研究院有限责任公司等。

1.2. 工作过程

（1）成立标准编制组

2021年11月1日，由上海太和水科技发展股份有限公司牵头，上海海洋大学、华东师范大学、上海市水利工程设计研究院有限公司、南京市市政设计研究院有限责任公司等单位协作，成立了标准编制组（以下简称“编制组”），编制组由多年从事湖泊水生态修复的专家及技术人员等组成，明确了编制组成员的分工和职责。其中，上海太和水科技发展股份有限公司为主要起草单位，负责标准编制工作，制定技术路线，编写标准文本及编制说明；上海海洋大学和华东师范大学负责国内外城镇湖泊生态修复技术现状调研、技术论证，协助健康生态系统评估；上海市水利工程设计研究院有限公司、南京市市政设计研究院有限责任公司负责景观湖泊生态系统实施情况调研，协助生态修复技术应用推广。

（2）查询国内外文献资料

公司查阅了环境标准制定的相关文件，如《环境保护标准编辑出版技术指南》（HJ 565-2010）、《标准化工作导则第1部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）、《国家生态环境标准制修订工作规则》、《生态环境标准管理办法》等；查阅了国内外水生态修复领域的相关文献资料，如 Joseph Shapiro 提出的“经典生物操纵理论”、Stanley I.Dodson 所著的《Introduction to Limnology》、Scheffer

Marten 所著的《Ecology of Shallow Lakes》等，为城镇湖泊生态系统的构建及标准指南的制修订提供理论性支持。

（3）编制过程

2020 年 12 月 30 日，完成《城镇湖泊健康水生态系统构建与生态修复指南》初稿，召开开题论证会，上海市环境科学学会及与会专家要求进一步完善初稿相关内容，明确适用范围，确定生态修复最终目标，补充生态修复实施验收评估、目标等内容，增加指南的实用性和可操作性。

2022 年 1 到 8 月，编制组根据指南研究任务和研究成果，结合开题论证的要求和意见，完善技术路线，结合生态修复前后评估进行指标细化，编制标准文本。

2022 年 8-11 月，征求有关单位意见并召开专家咨询会，汇总各类反馈意见，完善指南文本和编制说明。在上海市环境科学学会相关专家的指导下，完成《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南》（征求意见稿）及编制说明。

2 标准制修订的必要性分析

2.1 城镇景观湖泊水生态面临的问题

我国湖泊普遍存在着富营养化严重、生物多样性丧失、水生态系统严重退化等问题，水体自净功能丧失、自身系统难以应对外界因素干扰，常规治理技术治标不治本，且难以长效稳定保持，严重影响了湖泊生态系统的修复与构建，无法形成湖泊长效稳态。湖泊污染日益严重，面临着水资源减少，水生态环境急剧恶化；追求湖岸硬化覆盖、片面强调防洪功能，形态单一化，湖泊生态功能基本丧失等一系列问题，最终难以形成生态、健康的城镇湖泊生态系统。

城镇景观湖泊生态服务功能在维系城市生态系统的平衡、健康和城市经济和社会生活等诸多领域都发挥重要作用。针对城镇景观湖泊生态修复过程中，存在水体环境复杂，沉水植物种间竞争、植物季节性更替，食物链不稳定等因素导致修复系统不稳定、易于反复且不能长效持久，本指南基于沉水植物群落快速构建技术，探讨城镇湖泊健康水生态系统构建与生态修复的关键技术和长效稳定机制，以其为城镇湖泊生态修复及后期长效运营提供技术支撑。本指南适用于城镇湖泊中水深相对较浅的湖泊中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染控制、内源污染削减、水质净化、水生态修复、岸线修复、生态补水与水动力改善等内容。

2.2 城镇景观湖泊水生态的主要污染源

（1）内源污染

内源污染指来自水体系统内部的污染，其主要是由进入水体的物质通过各种物理、化学和生物作用，逐渐沉降至水体底质表层，当累积到一定量后再向水体释放，所造成的污染，包括底泥释放、水体水生动物排泄物、水生动植物残体等。

（2）外源污染

外源污染指来自水体系统外部的污染，它包括上游来水、地表径流、沿岸排水、降雨降尘及被丢弃入水体的垃圾等。

2.3 环保标准及工作要求

城镇景观湖泊是具有改善城镇区域风貌，构建城镇生态空间，营造城市宜居生态等生态环境效应功能的湖泊，同时兼具水源涵养、补给和行洪调蓄、休闲娱乐、提供生物栖息空间等功能。景观湖泊水质是水生态健康的决定性因素之一，但修复水生态仅仅改善水质指标是不够的，还需要重建生物群落。自然湖泊水体孕育着各类动物、植物、微生物，这些生物的新陈代谢活动驱使物质循环，形成水体的自我净化能力。具备这种能力的水体才具有较为稳定的生态系统和良好的自然景观，即使在季节更替中有个别水质指标短暂超过水质评级范围，之后也会自行恢复。高内稳性泛指生物在变化的环境中（包括食物、环境条件、气候条件、人类干扰等）保持其身体化学组成恒定和性能稳定的相对较高的能力。

3 国内外相关标准及文献研究

3.1 常见水生态修复技术

水环境是我们赖以生存的自然条件，污染物排放是我国江河湖泊水质恶化和生态灾变的主要根源。当前，削减面源污染、截除点源污染，以及清淤、拆围等措施成为水环境治理的主要手段。水生态修复技术可分为三大类：物理法，化学法和生物法。一些靠高成本手段维持水质的水体，即使表面上达标，实际上不具备良好的自我净化能力。因此，修复水环境要有生态理念。目前水环境治理主要的技术有化学法、物理法和生物法，而生物法越来越受到关注。

表 1 水环境治理主要技术

类别	方法	优点	缺点
物理法	截污、清淤疏浚、引水冲污、充氧曝气等	短期见效快	工程量大、处理费用高、破坏河湖生态环境或存在治标不治本
化学法	化学除藻、化学固定等	方法简单、见效快	存在投加的化学药剂易造成二次污染的潜在威胁
生物法	人工湿地、生态浮岛、生物操纵、微生物修复、生物膜治理、稳定塘治理等	成本低、运行维护简单、能够恢复生态系统	

3.2 国内外相关技术标准文献情况

在标准制定过程中，未查询到国内有与本标准完全一致的标准，标准编写过程中，引用和参考以下标准或文献。

《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）

《人工湿地污水处理工程技术规范》（HJ 2005-2010）

《人工湿地水质净化技术指南》（环办水体函〔2021〕173号）

《污水自然处理工程技术规程》SL/T 793-2020 CJJ/T 54-2017

《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》SL/T 800-2020

《土地利用现状分类》GB/T 21010-2017

- 《河湖健康评价指南（试行）》，水利部河湖管理司，2020.8
- 《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南》（试行）（环办〔2014〕111号附件5）
- 《上海市河道生态治理设计指南》，上海市水务局，2012.12
- 《水生态承载力评估技术指南》，中国环境科学学会，2020.6
- 《河湖生态修复与保护规划编制导则》SL 709-2015
- 《环境保护标准编制出版技术指南》HJ 565-2010
- 《水质样品的保存和管理技术规定》HJ 493—2009
- 《土壤质量土壤样品长期和短期保存指南》GB/T 32722-2016
- 《水质叶绿素 a 测定标准》HJ 897-2017
- 《城市污水再生利用景观环境用水水质》GB/T 18921-2019
- 《湖泊调查技术规程》，中国科学院南京地理与湖泊研究所，科学出版社，2015.5
- 《中国营养化调查规范》，科学出版社，1990.6
- 《地表水环境质量评价办法》（环办〔2011〕22号）
- 《湖沼学内陆水生态系统 [Jacob Kalff 著]》2011年版
- 《Ecology of shallow lakes》，Marten Scheffer, Kluwer Academic Publishers, 2004

3.3 本标准的制定及其与国内外相关标准的关系

目前，国外关于水生态修复的标准较少，主要是相关文献资料：如 Joseph Shapiro 提出的“经典生物操纵理论”、Stanley I. Dodson 所著的《Introduction to Limnology》、Scheffer Marten 所著的《Ecology of Shallow Lakes》等，为城镇湖泊生态系统的构建及标准指南的制修订提供理论性支持。

国内已有的水生态修复相关标准有：《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)，国家环境质量标准；《人工湿地污水处理工程技术规范》(HJ 2005-2010)，环境保护行业标准；《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》(SL/T 800-2020)，水利部行业标准；《城镇河道生态治理设施养护技术规程》(DB33/T1176-2019)，浙江省地方标准；《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T 18921-2019)，住建部替代标准；《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》(DBJ/T 15-183-2020)，广东省地方标准；《城市水系生态环境修复技术指南》(DB45/T 1513-2017) 广西省地方标准和《湖库型饮用水水源地生态环境修复技术规范》(征求意见稿)；《河湖生态修复工程运行及维护技术导则》(T/CAQI 177-2021) 中国水利水电科学研究院等起草的团体标准；上海市水务局发布了《上海市河道生态治理设计指南（试行）》、《上海市河道水生生物管理维护手册（试行）》、《上海市河道生态治理工程生态监测方案（修订）》、市建交委发布了《上海市海绵城市建设技术标准图集》、《人工湿地污水处理技术规程》、《上海市海绵城市建设技术标准》等工程建设规范。

这些标准规范了水环境项目标准限值、项目分析方法，污水处理工程有关设计、施工和运行维护的技术要求，河湖生态系统保护与修复工程技术要求，景观环境用水的水质指标、利用要求、安全要求、取样与监测等内容。

本标准除了关注进一步提升水环境质量，更关注生物链构建和健康生态系统的运维，对生态修复、生态自净、生境营造、生态平衡调节、重要水生生物栖息地与生物多样性保护等方面提供了实施指南。

4 标准制修订的基本原则和技术路线

4.1 标准制修订的基本原则

本标准制定依据《国家环境保护标准制修订工作管理办法》、《标准化工作导则第 1 部分：标准的结构和编写》（GB/T 1.1-2009）等的规定要求。立足于城镇湖泊水生态系统修复，水质监测指标与我国相关水质标准相适应，编制过程向国际先进标准看齐，确保制订的方法标准科学、合理、严谨。基本原则如下：

（1）方法满足环保标准和环保工作的要求；

考量现行水生态修复和污水处理的技术规范和指标要求，并与城镇湖泊水生态修复现场交流实际情况，确定标准的可行性。

（2）方法具有普遍适用性，易于推广使用。

在多个湖泊现场共同验证该方法适用的普遍性，以保证后期标准推广使用。

4.2 标准制修订的技术路线

（1）查阅期刊文献、国内和国际标准化组织的标准文本。

（2）完成标准的开题报告提交上海市环境科学学会，组织专家论证，确定技术路线，拟定实验方案；

（3）参照有关的基础标准或者规范技术要求，编制团体标准文本，同时编制标准文本制订的说明。提交标准文本和编制说明的征求意见稿；

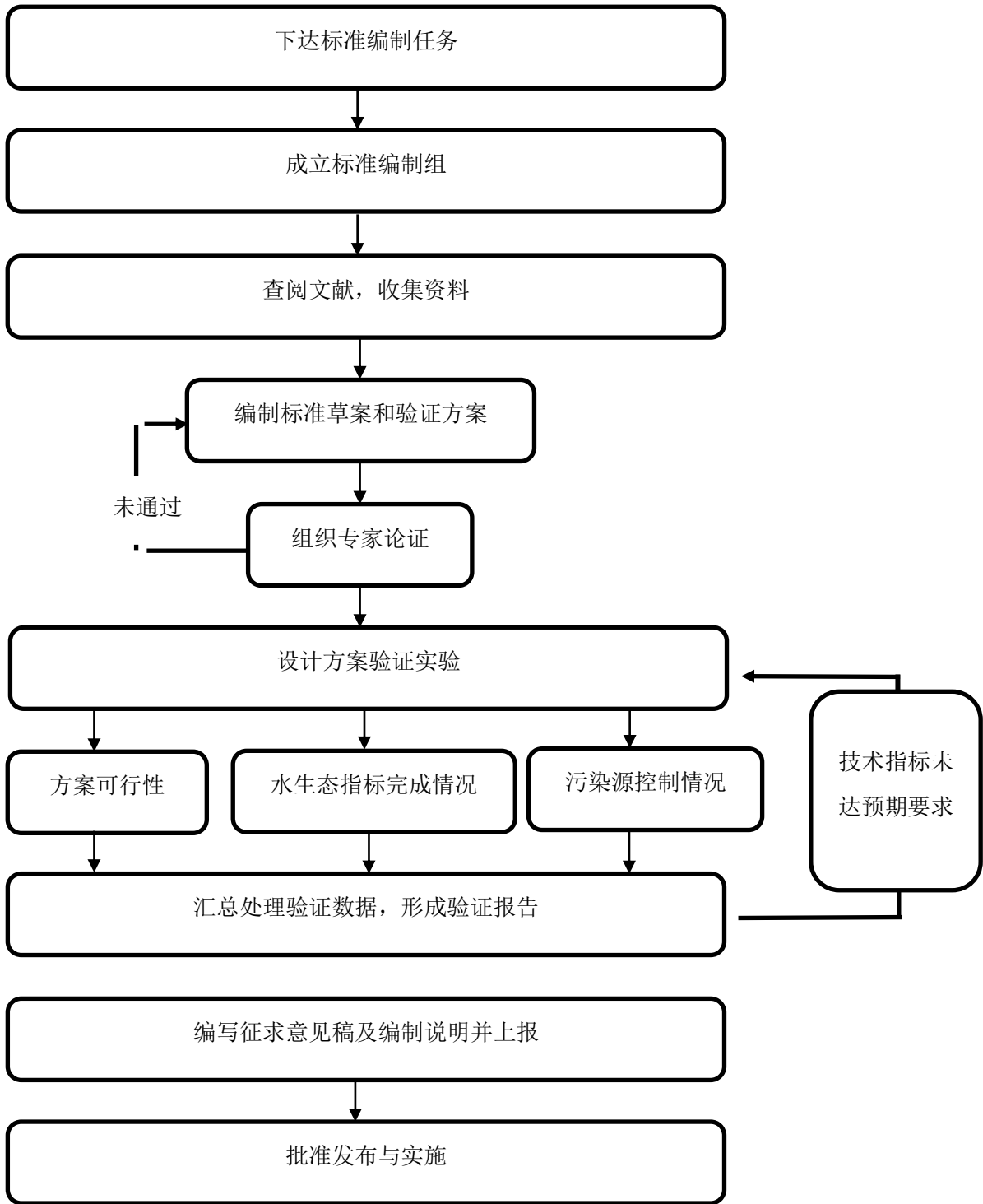
（4）征求意见稿上报上海市环境科学学会，向生态环境相关部门、科研院所、大专院校等公开征求意见；

（5）对征求的意见进行汇总，编制标准的送审稿和编制说明；

（6）送审稿经审查合格后，提交标准的报批稿和编制说明；

（7）报批稿经审查合格后发布。

技术路线图如图 1 所示。



5 标准的技术内容

5.1 标准的适用范围

本标准主要适用于城镇湖泊中水深相对较浅的湖泊中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染控制、内源污染削减、水质净化、水生态修复、岸线修复、生态补水与水动力改善等内容。

本标准的主要内容包括范围、规范性引用文件、术语和定义、水生态环境调查、城镇湖泊富营养化评价及分析、水生态系统修复方案设计、水生态系统修复实施方法、城镇湖泊水生态健康评价方法等。

5.2 标准的结构框架

标准共有六章三个附录，主要内容如下：

第一章为总则，含三个部分：

- (a) 适用范围：概述了本文件的编制目的和适用范围。
- (b) 规范性引用文件：介绍了本标准中引用的相关标准文件。
- (c) 术语和定义：列出了在本标准中出现的相关术语及其定义。

第二章为水生态环境调查，概括了水生态调查的基本内容，主要包含湖泊基础信息、污染源、水环境特征、底质沉积物、水生态、湖滨带调查等。

第三章为城镇湖泊富营养化评价及分析，列出了富营养化程度评价方法。

第四章水生态系统修复方案设计，明确水生态修复的设计原则、污染源控制方法、高内稳水生态系统修复、生态补水、水动力循环、增氧、驳岸、生境营造、生态平衡调节和重要水生生物栖息地与生物多样性保护等。

第五章为水生态系统修复实施方法，明确水生态系统修复的原则和实施细则，明确污染源控制施工、鱼类初期调控、高等水生维管束植物群落构建、藻类控制、水体透明度提升、水生动物群落结构优化、水质生态净化、水生态系统调试、水质监测实施和实施期间巡视等的实施要点。

第六章为城镇湖泊水生态健康评价方法，明确水环境评价、生境评价、生物评价及水生态环境质量综合评价方法，从而总结出城镇湖泊水生态健康评价方法。

附录是对标准主体的补充性说明，附录 A 是术语解释及补充，补充了水生维管束植物、水体污染源、生态系统健康评价方法、生态系统修复目的及目标等内容；附录 B 是水生态系统修复设计常用表格，例举了水生维管束植物种类、常见沉水植物、常见浮叶植物及常见挺水植物表格；附录 C 是水生态系统健康评价常用表格，明确水质监测指标及方法、水质理化指标评价等级及赋分、常见水生生物指数评价法适用性。

5.3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件，在术语定义中，参考了水生态修复相关经典书籍及文献及相关标准等，并根据本标准所涉及技术的具体情况，按照行业通常理解进行描述。

(1) 城镇湖泊 Urban Lake

城镇湖泊是指城市及乡镇拥有的一类浅水型淡水湖泊，一般平均深度小于 5-6 米，水体界面充分混合，湖水与底泥间物质交换强烈，沉积较为缓慢，没有明显的水温分层现象，具有湿地特性，能够生长水生维管束植物。一般城镇湖泊生态系统比较脆弱，因水体浅而容量小，且污染负荷能力较低，而城市及乡镇污染比较严重，极易发生富营养化并暴发蓝藻水华。

(2) 淡水生态系统 Fresh Water Ecosystem

淡水生态系统是指由淡水水域中水生生物群落与水域生存环境共同组成的生态系统，包括流水生态系统（lotic ecosystem）和静水生态系统（lentic ecosystem）。

流水生态系统是指由流动水体构成的淡水生态系统，如江河、溪流、水沟、水渠等。静水生态系统是指由相对静止水体（流动和更换缓慢）构成的淡水生态系统，如湖泊、水库、池塘等。

（3）浮游植物 Phytoplankton

浮游植物，也称浮游藻类，是水体的初级生产者，为一类体内含有叶绿素或其他色素、能吸收水中营养物质进行光合作用合成有机物的浮游生物。

（4）浮游动物 Zooplankton

是一类在水中营浮游生活的动物。

在内陆水体中，浮游动物（zooplankton）包括小至小于 $2\ \mu\text{m}$ 的鞭毛虫类原生动物（protozoa）大至超过几个厘米的甲壳类动物（crustaceans）。体长大于 $200\ \mu\text{m}$ 的浮游动物称为大型浮游动物（macrozooplankton），主要由甲壳类组成。体长小于 $200\ \mu\text{m}$ 的浮游动物称为小型浮游动物（microzooplankton），包括轮虫（rotifers）、挠足类（copepods）无节幼体和原生动物。

（5）底栖动物 Benthic Macrofauna

底栖动物是指生活史的全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群，包括沉积物表层的底表动物（epifauna）、沉积物内的表层动物（infauna）、植被上的附生动物（epiphytic fauna）以及生活在河流地表水和地下水交换区域内的潜流动物（hyporheic fauna）。水生昆虫、虾、蟹类等均归属于底栖生物。

（6）水生维管束植物（Aquatic Vascular Plants）

水生维管束植物，亦称水草，是指生活在水体中的维管束植物的总称，包括水生蕨类植物和水生被子植物。根据分类学可分为挺水植物、浮叶植物、沉水植物、漂浮植物。

（7）水体污染源 Water Pollution Source

水体污染源是指造成水域环境污染的污染物发生源。通常是指向水域排放污染物或对水环境产生有害影响的场所、设备和设置。水体污染源可分为水体外源污染和水体内源污染。

（8）藻型浊水态 A Turbid State With Little Vegetation

藻型浊水态是指水体高度浑浊且富含高浓度浮游植物和悬浮颗粒的状态。

（9）草型清水态 A Clear Vegetation Dominated State

草型清水态是指水体清澈且拥有丰富的沉水植被的状态。

（10）生态清淤 Ecological Dredging

生态清淤，又称环保清淤，其目的在于让水质和水生态环境得到改善，将湖体底部的淤泥和浮淤内源污染消除，避免出现二次污染，同时尽可能的不破坏水生生态系统的恢复条件。

其实质是：对污染底泥用工程技术手段实施薄层疏浚，疏浚厚度根据底泥污染的重轻程度而定，且疏浚工程实施后可为湖底微地形塑造和生态修复创造良好的生境条件。

（11）生物操纵 Biomanipulation

通过投加浮游动物、去除食浮游生物者或添加食鱼动物等措施对水生生物群及其栖息地的一系列调节，使大型浮游动物的生物量增加，从而提高浮游动物对浮游植物的摄食效率，降低浮游植物的数量。

（12）水生生态系统修复 Aquatic Ecological Restoration（AER）

简称水生态修复，是指通过一系列的保护措施将已经退化的水生生态系统恢复或修复到使其能够长久保持稳定的水平。即补救已经退化的水生生态系统，减轻其影响，使水生生态系统具有更高的生态忍受性。

（13）生态系统健康评价 Ecosystem Health Valuation

生态系统健康是指在人类活动持续干扰下，生态系统结构和功能依然能够保持稳定性和完整性。

生态系统健康评价是指生态系统健康评价方法是指综合测度生态系统稳定性和脆弱性的一种科学有效的方法。生态系统健康评价方法分指示物种法和指标体系法两种。

（14）高内稳性 High Stability

泛指生物在变化的环境中（包括食物、环境条件、气候条件、人类干扰等）保持其身体化学组成恒定和性能稳定的相对较高的能力。

（15）生物完整性指数 Index of Biological Integrity (IBI)

生物完整性 (Biological Integrity) 是指在一个地区的天然栖息地中的群落所具有的种类组成、多样性和功能结构特征，以及该群落所具有的维持自身平衡、保持结构完整和适应环境变化的能力。

生物完整性指数 Index of Biological Integrity (IBI)

将一组与周围环境关系密切、受干扰后反应敏感、可代表目标生物群落的各种结构和功能属性的生物参数整合成单一记分值的指数，可以对水体进行生物完整性评价。

（16）生物多样性指数 Species Diversity Index

生物多样性 (biological diversity 或 biodiversity) 是指存在于一定空间或区域上的生物及包括生物在内的生态联合体的所有变异，包括种内（即遗传多样性）、物种和生态系统的多样性。

生物多样性指数是指反映一定区域或空间上生物多样性高低的数值指标。

（17）生态涵养湖 Ecological Conserving Lakes

是指具有保护生物多样性、净化水源、土壤及空气的湖泊。

5.4 关键技术内容说明

根据城镇湖泊水生态修复的修复流程以及国家对城镇湖泊水生态修复的要求，本标准包括：“总则”、“水生态环境调查”、“城镇湖泊富营养化评价及分析”、“水生态系统修复方案设计”、“水生态系统修复实施方法”、“城镇湖泊水生态健康评价方法系统功能要求”等六个部分。

“水生态环境调查”部分，概括了水生态调查的基本内容，主要包含湖泊基础信息、污染源、水环境特征、底质沉积物、水生态、湖滨带调查等，并明确了每个调查的内容及方法。

“城镇湖泊富营养化评价及分析”部分，列出了富营养化程度评价方法，对待修复的城镇湖泊先进行富营养化程度评价，再针对不同情况进行合理的水生态系统修复设计。

“水生态系统修复方案设计”部分，作为本指南的主体部分，明确水生态修复的设计目标、设计原则、污染源控制方法、高内稳水生态系统修复、生态补水、水动力循环、增氧、驳岸、生境营造、生态平衡调节和重要水生生物栖息地与生物多样性保护等。明确了设计目标，水生态系统的修复是一个整体的过程，并不能通过单一要素的孤立操作来完成，需要在一个同等的水平上考虑所有主要的生态要素。生态修复的核心和最终目标是整个生态系统的恢复。这与生物修复有所不同。生物修复主要针对受污染

的水、土壤或空气，利用生物的方法去除、减少或降解污染物。由此可见，生物修复可以看作生态恢复的一部分。

特别是高内稳水生态系统修复设计，结合多年的工程经验，根据城镇湖泊的富营养化程度，有针对性地采取水生态修复措施，措施包括：生境营造、鱼类调控、水生维管束植物群落构建、藻类控制、水体透明度提升、水生动物群落结构优化、水质生态净化，明确了各个措施的详细参数。

“水生态系统修复实施方法”，作为本指南的主体部分，根据“水生态系统修复方案设计”部分的设计参数，明确水生态系统修复的原则和实施细则，明确污染源控制施工、鱼类初期调控、高等水生维管束植物群落构建、藻类控制、水体透明度提升、水生动物群落结构优化、水质生态净化、水生态系统调试、水质监测实施和实施期间巡视等的实施要点。

“城镇湖泊水生态健康评价方法”部分，明确水环境评价、生境评价、生物评价及水生态环境质量综合评价方法，总而总结出城镇湖泊水生态健康评价方法。通过对城镇湖泊实行水生态修复设计及施工，需对城镇湖泊水生态系统的健康进行评价。城镇湖泊健康评价方法是在《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南（征求意见稿）》的基础上，结合水生态修复的具体要求，结合开题论证会上相关专家的合理建议，选取物理化学指标、水环境指标、生物指标和人体健康指标对修复后的城镇湖泊进行综合评价。物理化学指标包括：自然岸线保有率、湖泊面积萎缩比例、透明度及水色；水环境指标包括湖泊营养状态指数及自净能力（主要为溶解氧浓度）；水生生物指标包括水生植物、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物、鱼类、外来入侵等六项大指标，评分标准查阅了大量文献及结合大量相关工程经验；人体健康指标重点关注藻毒素和重金属 Hg 指标。

“附录”部分是对标准主体的补充性说明，附录 A 是术语解释及补充，补充了水生维管束植物、水体污染源、生态系统健康评价方法、生态系统修复目的及目标等内容；附录 B 是水生态系统修复设计常用表格，例举了水生维管束植物种类、常见沉水植物、常见浮叶植物及常见挺水植物表格；附录 C 是水生态系统健康评价常用表格，明确水质监测指标及方法、水质理化指标评价等级及赋分、常见水生生物指数评价法适用性。

6 与开题报告的差异说明

与开题报告相比，发生了 4 个方面的改变：

1、题目改变：根据开题论证会及技术审查会专家意见，将开题时的标题《城镇湖泊健康水生态系统构建与生态修复指南》，改为《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南》。

2、适用范围改变：经过研究讨论，编制组落实开题论证会及技术审查会专家的意见，明确本指南的适用范围为城镇湖泊中水深相对较浅的湖泊中水生态系统构建与生态修复。

3、增加生态修复目标：根据开题论证会专家意见，明确了设计目标：水生态系统的修复是一个整体的过程，并不能通过单一要素的孤立操作来完成，需要在一个同等的水平上考虑所有主要的生态要素。生态修复的核心和最终目标是整个生态系统的恢复。这与生物修复有所不同。生物修复主要针对受污染的水、土壤或空气，利用生物的方法去除、减少或降解污染物。由此可见，生物修复可以看作生态恢复的一部分。

4、增加生态修复前后相关评价，第三章及第六章内容：根据开题论证会专家意见，对城镇湖泊修复前后进行相关评价，生态修复前主要是评价富营养化程度，修复后主要是从物理化学指标、水环境指标、生物指标和人体健康指标对修复后的城镇湖泊进行综合评价评分。

7 标准征求意见稿技术审查情况

待补充。

8 实施本标准的建议

本标准适用于城镇湖泊中水深相对较浅的湖泊中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染控制、内源污染削减、水质净化、水生态修复、岸线修复、生态补水与水动力改善等内容。旨在指导和规范城镇湖泊生态系统构建与生态修复工程。城镇湖泊生态修复相关人员可将本标准用于了解、评估城镇湖泊水生态修复工程的参考依据。

9 标准征求意见情况（送审稿增加内容）

待补充

10 参考文献

- [1] 马原. 水生态修复技术在城市河道污染治理工程中的应用[J]. 能源与节能, 2021(07):87-88+96.
- [2] 朱木得,徐劲钊,古锡均,姜学霞. 浅析城市景观湖泊污染状况及其修复技术进展[J]. 中国环保产业, 2020(03):62-64.
- [3] 王志国. 城镇河道治理与环境修复方案探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2020,48(08):106-109.
- [4] 徐祖荫. 河流污染治理技术与实践[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003:10-24.
- [5] 刘敏,左倬,王嘉伟. 生态修复技术在上海市黑臭水体治理工程中的应用进展[J/OL]. 净水技术: 1-8[2021-11-11].
- [6] 王珏,李玲宇,刘金涛,杨学福,黄毅,张治宏,赵平歌. 水体生态浮岛修复技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(20):10-13.
- [7] 黄小龙,郭艳敏,万斌,胡红娟,童莉,李小平. 沉水植物恢复对城市富营养化湖泊生态环境影响[J]. 环境工程, 2018, 36(07):17-21.
- [8] 纳云. 浅议生物膜技术在水生态修复与自然水体水环境治理中的应用[J]. 农业与技术, 2016, 36(17):24-25+39.
- [9] 赵雨. 城镇污水治理中人工湿地的应用研究[J]. 科技与创新, 2021(19):157-158.
- [10] Jacob Kalff 湖沼学内陆水生态系统 [Jacob Kalff 著] [M], 高等教育出版社, 2011 年版
- [11] Marten Scheffer Ecology of shallow lakes [M], Kluwer Academic Publishers, 2004
- [12] Joseph Shapiro, Biomanipulation: the next phase - making it stable*[J], Hydrobiologia, 1990, 200-201(1):13-27

- [13]刘正文, 湖泊生态系统恢复与水质改善[J], 中国水利,2006(17):30-33
- [14]秦伯强等, 浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考[J], 湖泊科学, 2005, 17(1): 9—16
- [15]李瑾等, 生态系统健康评价的研究进展[J], 植物生态学报, 2001, 25 (6) 641~647
- [16]Su H, Wu Y, Xia W, Yang L, Chen J, Han W, Fang J, Xie P*. Stoichiometric mechanisms of regime shifts in freshwater ecosystem. Water Research (in press)
- [17]马克平等, 生物多样性保护及其研究进展 [综述] [J], 应用与环境生物学报, 1998, 4 (1) : 95~99
- [18]尚占环等, 国内外生物多样性测度方法的评价与综述[J], 宁夏农学院学报, 2002,23 (3) : 68~73

附件 3

征求意见回复表

单位名称（盖章）				
联系人				
通讯地址				
联系电话				
邮 箱				
序号	标准条款	修改建议	主要理由	备注

（不够请另附页）