

上海市环境科学学会

关于《城镇河道生态系统评估与修复技术指南（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《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》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**2023年9月12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：021-64756391-603

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-2023

城镇河道生态系统评估与修复技术指南

Guidelines for the Ecosystem Evaluation and Restoration of Urban River

(征求意见稿)

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

上海市环境科学学会 发布

目 次

前 言.....	III
1 适用范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	2
4 水生态环境调查.....	4
4.1 水生态环境调查内容.....	4
4.2 基础信息调查.....	4
4.3 污染源调查.....	6
4.4 水环境特征调查.....	6
4.5 底泥调查.....	7
4.6 水生生物调查.....	7
4.7 河岸带调查.....	8
5 水环境评估.....	8
5.1 主要内容.....	8
5.2 水质评估.....	8
5.3 底泥质量评估.....	10
5.4 自然河道保有率评估.....	12
6 水生态系统修复方案设计.....	13
6.1 设计目标.....	13
6.2 设计原则.....	13
6.3 污染源控制.....	13
6.4 城镇生态河道水生态系统修复.....	15
6.5 生态补水、水动力循环.....	19
6.6 增氧曝气.....	20
6.7 驳岸.....	21
6.8 重要水生生物栖息地与生物多样性保护.....	23
6.9 生态系统构建与生态修复后健康评价.....	24
7 水生态系统修复实施.....	24
7.1 基本原则.....	24
7.2 实施细则.....	25
7.3 污染源控制施工.....	25
7.4 鱼类群落结构调控.....	26

7.5	水生维管束植物群落构建.....	27
7.6	藻类控制.....	30
7.7	水体透明度提升.....	30
7.8	水生动物群落结构优化.....	31
7.9	水生态系统调试.....	31
7.10	其它辅助措施.....	32
7.11	水质监测要求.....	32
7.12	实施期间巡视.....	33
8	生态健康评价.....	33
8.1	城镇河道生态健康综合评价公式.....	33
8.2	物理指标.....	33
8.3	化学指标.....	35
8.4	水生生物指标.....	35
8.5	人体健康指标.....	37
8.6	社会服务功能.....	37
8.7	城镇河道生态健康综合评价.....	38
附录 A	(资料性) 水生态系统修复设计常用植物类型.....	39
附录 B	(资料性) 水质监测指标及方法.....	41
参考文献	42

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。

本文件起草单位：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、王蓉、邵留、揭亮、徐小娜、尹昱苏、张敏、徐兵兵、高洋、吴智辉、张饮江、黄民生、李怀正、曹承进、张尧、潘珊珊、孔宇、杨柳。

城镇河道生态系统评估与修复技术指南

1 适用范围

本文件提供了城镇河道生态系统构建与生态修复过程中的水生态环境调查、水环境评估、水生态系统修复方案设计、水生态系统修复实施及河道生态健康评价的技术方法指南。

本文件适用于城镇中小河道中水深相对较浅（小于 5m）、流速较缓（小于 10cm/s）的河道中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染阻控、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。水深大于 5m 的城镇河道也可参照。

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。

GB 3838 地表水环境质量标准

GB 15618 土壤环境质量标准

GB 50201 防洪标准

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 18921 城市污水再生利用 景观环境用水水质

GB/T 21010 土地利用现状分类

GB/T 32722 土壤质量土壤样品长期和短期保存指南

CJJ/T 54 污水自然处理工程技术规程

HJ 710 生物多样性观测导则

HJ 2005 人工湿地污水处理工程技术规范

HJ 493 水质样品的保存和管理技术规定

HJ 565 环境保护标准编制出版技术指南

HJ 710.7 生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类

HJ 710.8 生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物

HJ 710.12 生物多样性观测技术导则 水生维管植物

HJ 897 水质 叶绿素 a 的测定 分光光度法

HJ/T91 地表水和污水监测技术规范

SL 368 再生水水质标准

SL 613 水资源保护规划编制规程

SL 709 河湖生态保护与修复规划导则

T/SSESB X-2023

SL/T 793 河湖健康评估技术导则

SL/T 800 河湖生态系统保护与修复工程技术导则

SL 196 水文调查规范

SL395 地表水资源质量评价技术规程

SL/Z 712 河湖生态环境需水计算规范

T/CSES 08 河岸带生态环境质量评估方法指南

T/CECS 919 城市河道生态健康评价技术导则

T/SSESB 5 城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南

3 术语与定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.0.1

河道 river

河水流经的路线，也是陆地表面宣泄水流的通道。可分为省级河道、市级河道、县级河道、和乡级河道四个等级。

3.0.2

城镇河道 urban river

流经城镇区域的河段及与河段毗邻的一定区域的总称。

3.0.3

河床 river channel

亦称“河槽”，河谷中被水流淹没的部分，能够随水位涨落而变化。其形态受地形、地质、土壤、水流冲刷、搬运和泥沙堆积的影响。

3.0.4

河岸带 riparian zone

河道常水位的两侧，直至河水影响消失为止的地带。

3.0.5

河网 river net

纵横交错分布较密的河道所构成的水系。

3.0.6

河道生态系统 river ecosystem

河道水域及其河岸带组成的生态系统，包括水域空间和水、陆生物群落交错带。

3.0.7

生境 habitat

生物个体、种群或群落生活地域的环境，包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因素。

3.0.8

生态驳岸 ecological revetment

亦称“生态护坡”，通过工程措施建设为具有一定植物分布生长的岸坡。

3.0.9

生态河道 ecological river

在满足河道基本水利功能的基础上，依靠自然作用和少量人为干预，能长期维持比较完整的水生态系统和河岸生态系统的河道，并具有一定的生态景观效果。

3.0.10

生态水位 ecological water level

能维持河道水生态系统功能的最低水位。

3.0.11

生态流量 ecological flow

水流区域内保持生态环境所需要的水流流量，是维持下游生物生存生态平衡的最小水流量。

3.0.12

行洪能力 flood carrying capacity

河道在最高水位时，其宣泄洪水流量的能力。

3.0.13

浮游植物 phytoplankton

亦称“浮游藻类”，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，属于水域的初级生产者。

3.0.14

浮游动物 zooplankton

一类在水中营浮游生活的动物。一般包括原生动物、枝角类、轮虫和桡足类。

3.0.15

底栖动物 zoobenthos

生活史全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群。

3.0.16

水生维管束植物 aquatic vascular plants

亦称“水草”，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。

3.0.17

水体污染源 water pollution source

造成水域环境污染的污染物发生源。

3.0.18

生态清淤 ecological dredging

运用适宜机具精准去除重污染河道的薄层淤泥的工程措施，可为河道生态修复和自然恢复创造必要

的生境条件。

3.0.19

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，增加大型浮游动物生物量，从而降低浮游植物数量。

3.0.20

水生生态系统修复 aquatic ecological restoration (AER)

指通过一系列的修复和保护措施，将已经退化的水生生态系统恢复到可长久保持稳定的水平，使水生生态系统具有更高的生态耐受性。

3.0.21

河道健康 river health

河流系统在变化的自然和人文环境中，能够保持结构稳定和系统各组分间的相对平衡，实现有活力的、多样的系统功能，并具有可持续利用和通过自我调整而趋于完善的能力。

3.0.22

生态系统健康评价 ecosystem health valuation

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。可分为指示物种法和指标体系法两种。

3.0.23

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

指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。

3.0.24

生物多样性指数 Biological Diversity

指反映一定区域或空间上生物多样性高低的数值指标。

4 水生态环境调查

4.1 水生态环境调查内容

主要包括河道基础信息、污染源、水环境特征、底泥、水生生物、河岸带调查等，可结合当地规划部门、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现有数据进行。

4.2 基础信息调查

4.2.1 自然概况

4.2.1.1 地理位置

主要包括河道名称、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。

4.2.1.2 地质地貌

主要包括区域的地形地貌单元的类型与特征、地质构造等。

4.2.1.3 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。

4.2.1.4 水文及水系特征

水文特征主要包括河道水位、流速、流向、径流量、汛期及干旱季节水位变化、含沙量和结冰期等特征信息；

水系特征主要包括河道类型（山区型、平原型、河口型，间歇性、常年性）、发源地（如山区、湿地或沼泽）、河道长度、流向、面积、分支数量及其形态、河道水系连通性、河网密度等。

4.2.1.5 生态功能

主要包括水利调度、调蓄、生物多样性维护、灌溉、景观休闲、文化娱乐、调节局部气候等。

4.2.1.6 自然资源现状

主要包括森林、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。

4.2.1.7 水利工程概况

主要包括堤防、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、型式、建成时间及运行管理情况等。

4.2.1.8 行洪功能

主要包括历年来（如近 10 年、20 年、50 年、100 年等）汛期的最高水位、流速、流量等。

4.2.1.9 航运功能

主要包括每年河道过往的船只类型、平均船只数量、行船速度、船只最大吨位或最大马力、船只吃水深度等。

4.2.1.10 人口分布和土地利用类型

主要包括河道汇水面积内的人口分布、土地利用类型、工厂企业布局及作物种植面积、畜牧养殖业等农业分布情况等。

4.2.2 水域基本特征

主要包括水域面积、水深、透明度（SD）、水色、换水周期、岸线、宽度、形态、容量、起始边界、河床和河岸土壤类型、水体经营情况、文化娱乐活动情况等。

4.3 污染源调查

4.3.1 污染源分类

4.3.1.1 按污染途径通常分为内源污染、外源污染。

4.3.1.2 按污染时效性可分为长期污染负荷、冲击污染负荷。

4.3.2 污染源调查内容

4.3.2.1 点源污染宜对城镇河道的排污口进行逐一排查，并根据污染源分布进行溯源。

4.3.2.2 农业面源污染包括农业生产及农村污染，宜对村镇生活污水、农林业农药化肥施用、畜禽养殖、水产养殖、固体废弃物和暴雨径流等进行重点调查。

4.3.2.3 城市面源污染宜对城市的排水系统进行调查，重点调查分流制排水系统中的雨污混接。

4.3.2.4 上游污染宜对入河的水质、流量、流向等进行调查

4.3.2.5 内源污染应针对河道底泥、航运等内源污染情况进行调查。

4.4 水环境特征调查

4.4.1 水质检测指标

4.4.1.1 常规指标宜包含水温（WT）、透明度（SD）、酸碱度（pH）、高锰酸盐指数（ COD_{Mn} ）、化学需氧量（ COD_{Cr} ）、氨氮（ NH_3^+-N ）、总磷（TP）、总氮（TN）、悬浮物（SS）、叶绿素 a（*Chl-a*）、溶解氧（DO）等。

4.4.1.2 水文调查指标宜包含水深、流速、流量、流向等。

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

4.4.1.4 当河道水源或本底为非淡水，应增测盐度。

4.4.1.5 现存或曾存在化工区的水域可根据需要选取相应企业废水特征污染物进行检测。

4.4.2 水质调查采样点布设

参照 HJ/T91 进行。

4.4.3 水质采样频次

根据采样点环境条件及采样规范而定，参照 HJ/T91 进行。

4.4.4 水质保存条件

参照 HJ 493 进行。

4.4.5 水质检测方法

参照 GB 3838、HJ 897 等有关规定和要求，进行水质检测。

4.4.6 水质评价

根据应实现的水域功能类别，选取 GB3838 相应类别标准，进行单因子评价。评价结果宜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。

4.5 底泥调查

4.5.1 底泥检测指标

4.5.1.1 常规指标宜包括底泥中各垂直深度污染物浓度，底泥厚度、含水率、氧化还原电位（ORP）、有机质含量、总氮、总磷、活性磷、重金属含量、底泥污染释放系数等。

4.5.1.2 持久性有机污染物、抗生素等指标宜根据实际需求进行选择性和针对性监测。

4.5.1.3 河道水源或本底为非淡水河道、盐碱地改造开挖形成的河道、盐碱土覆盖底部的河道，应增测盐度。

4.5.1.4 河道曾接收过医疗废水的排放时，底泥内存在大量病原体，则宜增测微生物群落结构和多样性并进行分析。

4.5.2 底泥样品采集

可涉水河道宜采用底泥采集框收集底泥样品，不可涉水河道宜采用彼得逊采泥器收集底泥样品，每一断面应重复采集 3 次。具体可参照《湖泊沉积物调查规范》（科学出版社）。

4.5.3 底泥保存方法

参照 GB/T 32722 进行。

4.5.4 底泥检测方法

参照《湖泊沉积物调查规范》（科学出版社）中提出的检测方法进行。

4.6 水生生物调查

4.6.1 水生生物调查对象

包括浮游植物、浮游动物、水生维管束植物、大型底栖动物、鱼类和入侵物种等。

4.6.2 水生生物调查内容

包括水生生物种群组成、优势种、分布和现存量。

4.6.3 水生生物调查方法

参照《河流水生生物调查指南》（科学出版社）中提出的调查方法进行。

4.6.4 物种多样性调查

参照 HJ 710.7、HJ 710.8 和 HJ 710.12 中提出的调查方法进行。

4.7 河岸带调查

4.7.1 河岸带调查内容

主要包括河岸带类型调查、生态调查、地形地貌调查、河岸文化调查。其中，生态调查主要包含植被调查、生境调查。

4.7.2 河岸带调查布点采样

根据岸线长度、不同岸段的生态系统特点、支流分布情况等因素，并结合现有污染排放点，以及降低调查成本、减少采样对河道生态环境的影响等原则，综合考虑布设。参照 T/CSES 08 中提出的调查方法进行。

4.7.3 河岸带调查分析方法

生态调查与污染物调查宜按本文件章节 4.3、4.4、4.5、4.6 条的规定进行；地形地貌的数据可通过现场测定获得。

5 水环境评估

5.1 主要内容

水环境评估内容主要包括水质、底泥环境质量、自然河道保有率。

5.2 水质评估

5.2.1 常规评估

参照 GB 3838, 对表 1 所示 7 个指标进行监测评估, 根据具体需求, 合理安排监测断面及监测频次。

表 1 河道水质常规监测指标

评价对象	监测指标
河道	透明度
	溶解氧
	高锰酸盐指数
	氨氮
	总氮
	总磷
	叶绿素 a

5.2.2 富营养化状态评估

5.2.2.1 综合营养状态指数计算公式

针对富营养化比较严重的缓流或无流动的中小城市河道, 由于河道水环境与浅水湖泊具有一定相似性, 其河道营养状态评价可以参考使用《湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定》推荐的综合营

养状态指数(TLI)。 TLI 的指标有叶绿素 a ($Chl-a$)、总磷 (TP)、总氮 (TN)、透明度 (SD) 和高锰酸盐指数 (COD_{Mn})。

综合营养状态指数 TLI 按照公式 (1) 计算:

$$TLI(\sum) = \sum W_j \cdot TLI(j) \quad (1)$$

式中:

$TLI(\sum)$ 为综合营养状态指数;

W_j 为第 j 种参数的权重;

$TLI(j)$ 为第 j 种参数的营养状态分指数。

W_j 的结果按照公式 (2) 计算:

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

式中:

r_{ij} 为第 j 种参数与基准参数 $Chl-a$ 的相关系数;

m 为评价参数的个数。

河道的 $Chl-a$ 与其他参数之间的相关关系 r_{ij} 及 r_{ij}^2 见表 2。

表 2 TLI 中叶绿素 a 与其他指标的相关性

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

$TLI(j)$ 的计算如下:

$$TLI_{Chl-a} = 10 (2.5 + 1.086 \ln C_{Chl-a}) \quad (3)$$

式中:

TLI_{Chl-a} 表示叶绿素 a 的营养状态指数;

C_{Chl-a} 表示叶绿素 a 的监测值, 单位为毫克每立方米 (mg/m^3)。

$$TLI_{TP} = 10 (9.436 + 1.624 \ln C_{TP}) \quad (4)$$

式中:

TLI_{TP} 表示总磷的营养状态指数;

C_{TP} 表示总磷的监测值, 单位为毫克每升 (mg/L)。

$$TLI_{TN} = 10 (5.453 + 1.694 \ln C_{TN}) \quad (5)$$

式中:

TLI_{TN} 表示总氮的营养状态指数;

C_{TN} 表示总氮的监测值，单位为毫克每升（mg/L）。

$$TLI_{SD} = 10 (5.118 - 1.94 \ln C_{SD}) \quad (6)$$

式中：

TLI_{SD} 表示透明度的营养状态指数；

C_{SD} 表示透明度的监测值，单位为米（m）。

$$TLI_{COD_{Mn}} = 10 (0.109 + 2.661 \ln C_{COD_{Mn}}) \quad (7)$$

5.2.2.2 综合营养状态分级标准及赋分

TLI 综合营养状态分级标准及赋分见表 3。

表 3 TLI 营养状态分级标准及赋分

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	$TLI(\Sigma) \leq 30$	$30 < TLI(\Sigma) \leq 50$	$50 < TLI(\Sigma) \leq 60$	$60 < TLI(\Sigma) \leq 70$	$TLI(\Sigma) > 70$
赋分	5	4	3	2	1

5.3 底泥质量评估

5.3.1 主要评估内容

底泥质量评估主要包括底泥营养状况评估和重金属状况评估。

5.3.2 底泥营养状况评估

本文件用综合无机营养盐污染指数评价法和有机指数评价法评估底泥营养状况。

5.3.2.1 综合无机营养盐污染指数评价法

以 1960 年太湖底泥中 TN、TP 实测值的平均值作为评价标准（ $C_{STN}=0.067\%$ ， $C_{STP}=0.044\%$ ），由单项营养盐污染指数计算公式：

$$S_i = C_i / C_s \quad (8)$$

式中：

S_i 为单项评价指数或标准指数， S_i 大于 1 表示含量超过评价标准值；

C_i 为评价因子 i 的实测值；

C_s 为评价因子 i 的评价标准值。

$$FF = \sqrt{\frac{F^2 + F_{max}^2}{2}} \quad (9)$$

式中：

FF 为综合营养盐污染指数；

F 为 n 项营养物污染指数平均值；

F_{max} 为最大单项营养盐污染指数。

底泥 N、P 营养盐污染程度评价等级及分级标准见表 4。

表 4 底泥 N、P 营养盐污染程度评估等级分级标准

等级	1	2	3	4	5
S_{TN}	$S_{TN} \leq 0.5$	$0.5 < S_{TN} \leq 1.0$	$1.0 < S_{TN} \leq 1.5$	$1.5 < S_{TN} \leq 2.0$	$S_{TN} > 2.0$
S_{TP}	$S_{TP} \leq 0.25$	$0.25 < S_{TP} \leq 0.5$	$0.5 < S_{TP} \leq 1.0$	$1.0 < S_{TP} \leq 1.5$	$S_{TP} > 1.5$
FF 值	$FF \leq 0.5$	$0.5 < FF \leq 1.0$	$1.0 < FF \leq 1.5$	$1.5 < FF \leq 2.0$	$FF > 2.0$
营养状况	贫营养	正常	轻度营养	中度营养	重度营养
赋分	5	4	3	2	1

5.3.2.2 底泥有机指数评价

计算公式如下：

$$OI = OC (\%) \times ON (\%) \quad (10)$$

$$ON = TN (\%) \times 0.95 \quad (11)$$

$$OC = \frac{OM (\%)}{1.724} \quad (12)$$

式中：

OI 为有机指数 (%)；

OC 为有机碳 (%)；

ON 为有机氮 (%)。

底泥中有机指数评估等级分级标准见表 5。

表 5 底泥有机指数评估等级分级标准

等级	1	2	3	4	5
有机指数 (OI)	$OI < 0.03$	$0.03 \leq OI < 0.05$	$0.05 \leq OI < 0.20$	$0.20 \leq OI < 0.5$	$OI \geq 0.5$
营养状况	贫营养	正常	轻度营养	中度营养	重度营养
赋分	5	4	3	2	1

5.3.3 底泥重金属状况评估

5.3.3.1 河道底泥重金属潜在生态危害指数 (RI) 计算公式

参照 GB15618，根据需求可选用汞、镉、铅、铬、砷等重金属指标，对河道底泥污染状况进行评估。采用潜在生态危害指数 (RI) 表征。

RI 指数等于所有重金属潜在生态危害系数的总和，计算公式如下：

$$RI = \sum_i^n E_r^i \quad (13)$$

$$E_r^i = T_r^i \cdot C_f^i \quad (14)$$

$$C_f^i = \frac{C^i}{C_n^i} \quad (15)$$

式中：

C_f^i 是重金属*i*的污染系数；

C^i 是重金属*i*的实测浓度；

C_n^i 是重金属*i*的评价参比值；

E_r^i 是重金属*i*的生态危害系数；

T_r^i 是重金属毒性响应系数。

为了反映特定区域的分异性，对于某一地区的城市河道，应选用该地土壤环境背景值作为参比值。

5.3.3.2 底泥重金属潜在生态危害指数（*RI*）分级标准及赋分

河道底泥重金属潜在生态危害指数（*RI*）分级标准及赋分见表 6。

表 6 底泥重金属生态风险程度分级标准

等级	1	2	3	4	5
<i>RI</i>	<150	150~300	300~600	≥600	
E_r^i 值	<40	40~80	80~160	160~320	≥320
危害程度	轻微	中等	强	很强	极强
赋分	5	4	3	2	1

5.4 自然河道保有率评估

5.4.1 自然河道保有率计算公式

以保持河道自然形态，为生物提供栖息地的河道长度占评价河道总长度的比值表示，按公式（16）进行计算：

$$P_{nat} = L_{nat} / L \times 100\% \quad (16)$$

式中：

P_{nat} 为自然河道保有率；

L_{nat} 为自然河道长度，m；

L 为评价河道总长度，m。

5.4.2 自然河道保有率分级标准及赋分

河道自然河道保有率分级标准及赋分见表 7。

表 7 河道自然河道保有率分级标准及赋分

P_{nat} 值	<20	20~40	40~60	60~80	80~100
等级	差	较差	中等	良好	优秀
赋分	1	2	3	4	5

6 水生态系统修复方案设计

6.1 设计目标

理想状态是达到受损之前（原始）的状态，即生态修复目标。考虑到水体原始目标确定的时间尺度问题，提出一般性生态修复目标：

（1）透明度目标：水体透明度常年达到 1.0 m 以上，不足 1.0 m 清澈见底，构建“草型清水态”生态河道，也可因地制宜制定具体目标；

（2）水质参考目标：主要富营养水质指标（溶解氧、 COD_{Mn} 、氨氮、总磷）满足河道功能区要求。

（3）健康目标：根据城镇河道水生态环境质量综合评价达到健康及以上标准，具体参照 8.7 章节。

6.2 设计原则

6.2.1 总则

确定目标水体的生态功能、定位及修复目标是城镇生态河道水生态系统修复方案设计的基础，方案设计应从系统性、整体性出发，重点考虑水环境、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、水文化等。

6.2.2 “一河一策”设计原则

城镇生态河道水生态系统修复设计应遵从城镇河道自身的功能、环境质量要求及生态定位。对于健康状况良好的河道，以预防维护措施为主。对于轻微受损的城镇河道，可优先采用水生态修复措施。对于严重受损的城镇河道，可采取生态系统重建等措施。

6.2.3 最大还原与最小干预原则

恢复至接近河道水域原有的自然生态系统，实现水生态系统的完整性，且工程实施过程中对周边环境及安全的影响降到最低。

6.2.4 系统性与长效性原则

因地制宜实施城镇河道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。

6.2.5 技术可行与经济最优原则

水生态系统修复技术，要求具有技术先进性，且必须考虑投入成本和运行费用总和相对较低。

6.3 污染源控制

6.3.1 内源污染削减

6.3.1.1 主要内容

主要包括清杂打捞、排水晾晒、底泥改良活化、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。

6.3.1.2 清杂打捞

河道原有待清理的水生植物、岸带植物和枯枝落叶等，应及时清理；水面漂浮垃圾如塑料袋、水瓶、其他生活垃圾等，应长期清捞维护；河道沿岸垃圾临时堆放点应一次清理到位。

6.3.1.3 排水晾晒

有条件的城镇河道，对底泥采取排水自然晾晒处理方式，不低于 3-5 天为宜，有利于内源污染控制和改善河底生境。

6.3.1.4 底泥改良活化

根据河道底泥调查结果，综合考虑选取合适方法进行河底底泥改良活化。常用的底泥原位改良活化包括微生物底改法、石灰法、过氧化钙法等，具体方法对比见表 8。

表 8 不同底泥原位改良方式对比

底泥处理方式	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	发挥各菌种的协同作用，改善底泥和水质，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。	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

6.3.1.5 生态清淤

生态清淤需根据河道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盐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。不同的生态清淤方式各有优势，应根据场地条件、底泥情况及后续出路等因素综合考虑确定。

6.3.2 外源污染阻控

6.3.2.1 控源截污法

从源头控制污水和固体污染物等向河道排放，主要针对河道沿岸各种污水排放口等污染源的控制与治理技术，包括截污纳管、雨污混接改造、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、生态湿地技术等。

6.3.2.2 原位处理法

外源污染治理过程中，在未达到有效控制的情况下，可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预处理，沉淀来水中的泥沙、悬浮物，去除油类、有机污染物等，改善来水水质，为后续水质净化提供条件。

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、漂浮湿地技术、砾石过滤法等。

根据外来污水水质特征、现场用地情况、水质目标要求等，选择针对性预处理区技术措施。

生态缓冲区技术措施宜采取建设与运行成本低、易于维护的处理设施。

6.3.2.3 异位处理法

外源污染治理过程中,在未达到有效控制的情况下,可在排入城镇河道前,在河道外设置净化系统,实现水流由外围设施净化的技术措施,净化后再汇入河道内。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。

6.3.2.4 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。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。

6.3.2.5 河道上游段强化处理措施

针对河道富营养化和泥沙含量较高的河道,宜在河道上游 100~500m 区域采取强化预处理措施,以促进泥沙沉降,降低氮磷等营养盐负荷。

a) 飘带强化预处理。

根据河道水深,在适宜区域悬挂生物飘带,即可增加河道粗糙度,促进泥沙沉降,又为微生物提供附着环境,降低河道来水污染负荷,减轻中下游水体治理压力。

b) 网床强化预处理

在河面上布置一定数量的高等植物浮床或沉水植物网床,通过水生植物生长及根系微生物,降低水体中的富营养化物质。

c) 投放食藻虫

在强化处理区域范围内,适当投放一定量的食藻虫,可以降低水体中浮游植物、腐殖质和有机颗粒物的浓度,快速提高水体透明度。

d) 耐污沉水植物强化预处理

在一定区域范围内,适当种植狐尾藻、眼子菜等耐污染的沉水植物,以快速构建沉水植物群落系统,恢复“草型清水态”自净系统,使水质得到显著改善。

6.4 城镇生态河道水生态系统修复

6.4.1 总体要求

6.4.1.1 概述

城镇河道水生态系统修复是以控藻浮游动物作为启动因子,配置适合城镇河道水文、水动力的水生植物群落,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、底栖土著鱼虾螺贝类恢复到沉水植物、挺水植物、浮叶植物等恢复的水生生态系统恢复,最终实现城镇河道的生态自净及生态承载功能的稳态修复。

6.4.1.2 主要措施

水生态修复的主要措施包括:鱼类群落结构调控、预处理措施、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、水生态系统调试等。

6.4.2 鱼类群落结构调控

重点调控滤食性鱼类、草食性鱼类、底栖性鲤科鱼类等，保留土著肉食性鱼类，除水体中原有鱼类和不能自然繁殖的鱼类，原则上不引入新的物种，避免造成外来物种入侵。

6.4.3 预处理措施

6.4.3.1 概述

为保障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，应综合考虑水生态系统的预处理措施。

6.4.3.2 底泥前处理措施

对底泥实施前处理措施，包括底泥改良活化、底泥生态修复以及河底地形重塑等。

6.4.4 水生维管束植物群落构建

6.4.4.1 水生维管束植物群落构建包括沉水植物群落构建、浮叶植物群落构建、挺水植物群落构建。

6.4.4.2 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，促进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。

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

6.4.4.4 水生维管束植物分为沉水植物、浮叶植物及挺水植物。

6.4.4.5 不同种类的水生植物种植方式也有差异。常用的种植方式见表 9，可结合实际工况选择合适的种植方式。

表 9 水生维管束植物种植方式

植物种类	挺水植物	浮叶植物	沉水植物
种植方式	盆栽、插植	盆栽、插植、抛掷	插植、抛植
适宜水深 (m)	0-1.0	0.1-2.0	0.2-5.0

6.4.4.6 为保证城镇生态河道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，常用种植密度见表 10，可结合工况及净水目标根据实际情况进行调整。

表 10 水生植物种植密度

植物种类	沉水植物	浮叶植物	挺水植物
种植密度 (株/m ²)	80-150	2-16	9-25
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。			

6.4.4.7 城镇生态河道沉水植物群落构建

- a) 沉水植物群落一般种植于水深 0.2 m~5 m 的区域，根据不同水域适当调整。
- b) 根据流速选择相应的沉水植物，具体见附表 A.1。
- c) 严格杜绝外来物种。

6.4.4.8 浮叶植物群落构建

- a) 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。
- b) 设置在河道相对开阔平缓水域，避免在受风浪影响大或有行洪需要的位置大规模配置。
- c) 主要设置在亲水平台、景观步道、桥梁栈道两侧等位置。
- d) 要充分考虑其生物特性，如是否容易蔓延等，应避免因遮光导致沉水植物无法进行光合作用而死亡。
- e) 常见浮叶植物见附表 A.2。

6.4.4.9 挺水植物群落构建

- (1) 主要种植于河道驳岸浅水处，最佳种植水深为 $\leq 1\text{m}$ 。
- (2) 主要功能有拦截地表径流、削弱面源污染、提高河道整体景观效果、为水生动物及禽类提供繁衍生息场所等。挺水植物多设置在河道水面相对开阔平缓水域，避免在有行洪需要的位置大规模配置。
- (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A.3。

6.4.5 藻类控制

6.4.5.1 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）。

6.4.5.2 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。

6.4.5.3 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。

6.4.5.4 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,包括人工或机械打捞、遮光、投加腐殖酸钠、调整 pH 值等措施。

6.4.6 水体透明度提升

6.4.6.1 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。各方法对比见表 11。

表 11 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,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

6.4.6.2 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见表 12。

表 12 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	50-150 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。
注:河道项目中,控藻浮游动物按以上投放密度的 2 倍用量;河道项目在后期维护期间,每年需投加一次控藻浮游动物(投放密度:100 ml/m ²)。		

6.4.7 水生动物群落结构优化

6.4.7.1 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。水生态系统的基本组成及营养关系见 T/SSESX 5 图 1。

6.4.7.2 考虑不同鱼类和底栖动物的生态位不同和食性差异，从当地物种中选取土著鱼类和底栖动物构建食物链，其中底栖动物主要以螺贝类为主。使所选物种在栖息空间和食性方面互补，更好地利用水体空间和饵料资源。

6.4.7.3 鱼类建议投放比例

鱼类重量建议投放比例：肉食性鱼类 40%~60%，其他土著性鱼类<30%，控制杂食性、草食性鱼类。

6.4.7.4 水生动物投放密度

为保证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，常用投放密度见表 13，可结合工况及净水目标根据实际情况进行调整。

表 13 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

6.4.7.5 在水生植物种植完成后，先构建底栖动物群落，待后期水生植物生长稳定后再构建鱼类群落。

6.4.7.6 河道水生态系统修复后，应对河道进行监测，建议定期对水体中的草食性鱼类清理。

6.4.8 水生态系统调试

6.4.8.1 概述

在生态系统初期，生态系统尚不稳定，需通过水生态系统调试措施以确保生态系统稳定。

6.4.8.2 水生态系统调试主要措施

水生态系统调试主要包括水草补种、投放生态净水剂、调控鱼类、底栖动物投放以及水质监测等。

6.5 生态补水、水动力循环

6.5.1 概述

6.5.1.1 当城镇河道水体所需补水量不大时，生态补水可选用城市储蓄雨水、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 GB/T 18921、SL 368 的相关规定。

6.5.1.2 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河道，应实施生态补水工程。生态流量则是指为了维系河流等水生态系统的结构和功能，需要保留在河道内符合水质要求的流量（水量、水位）及其过程。

6.5.1.3 对于流动性较差、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河道，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，加速污染物质降解、削减、去除。

6.5.2 生态补水技术

6.5.2.1 河道生态流量的计算方法可按现行行业标准 SL613 和 SL709 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，有效保障河道生态水位。

6.5.2.2 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，保证河道生态基流。半封闭型河道还需考虑下游生态流量保证措施，综合调控管理。

6.5.3 水动力循环技术

6.5.3.1 在流动性较差的河道，可采用水动力循环技术增加水体循环。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。

6.5.3.2 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层提升至表层，表层水通过自重进入下层，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。

6.5.3.3 如与外部发生循环，则视水体水质与水源情况而定。如内部水质较差，在可与外部水源交换的条件下，增加交换频次。

6.6 增氧曝气

6.6.1 概述

6.6.1.1 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。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，防止水质恶化。

6.6.1.2 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道。当水体溶解氧浓度低于 3 mg/L 时就需实施增氧。

6.6.2 增氧曝气技术

6.6.2.1 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。

6.6.2.2 自然增氧技术多用于流动性较大的河道，在河道中使用，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。

6.6.2.3 人工增氧技术应根据需曝气河道水质目标、自然条件、功能要求、污染源特征的不同，采用固定式或移动式增氧。

6.6.2.4 城镇河道由于水体较浅，不用考虑垂直水深深度，可采用机械曝气和鼓风曝气。

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

6.6.2.6 鼓风曝气或纯氧曝气适用于水深较深或需长期曝气复氧的河道。有航运功能、水上活动等要求或有景观功能要求的河道，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。

6.6.2.7 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。

6.6.2.8 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。

6.6.2.9 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。

6.6.2.10 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 $\text{kgO}_2/(\text{kw}\cdot\text{h})$ 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。

6.6.2.11 鼓风曝气设备的设备容量可参考《给水排水设计手册（第 5 册） 城镇排水》中的相关内容进行计算。

6.7 驳岸

6.7.1 概述

6.7.1.1 建于水体边缘和陆地交界处，沿水体地面以下，保护河岸，阻止河岸崩塌或冲刷，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。

6.7.1.2 根据目前国内外河驳岸功能，驳岸可分为传统型驳岸和生态型驳岸。

6.7.2 传统型驳岸

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，包括浆砌石驳岸、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。传统型驳岸主要发挥保持岸坡稳定性、防洪排涝、减少水土流失、引水、消浪等功能。

6.7.3 生态型驳岸

6.7.3.1 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。

6.7.3.2 生态型驳岸设计应遵循以下原则：

- a) 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的行洪功能造成影响。
- b) 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，防止淘蚀后失稳崩塌。
- c) 生态安全原则：生态型驳岸设计选材要以生态为主，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。
- d) 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。

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

6.7.3.4 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。

a) 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) 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) 主要优势在于：可保护水体区域原生生态环境；可促进有机物的降解，拦截外围污染，改善水质；可节省材料及人工，管理维护成本低；可抗冲刷、固土护岸，提升景观效果、增加生态位。
- 4) 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。

b) 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：基础简单，制作方便；种植植物可提高水体整体景观效果。

c) 复合材料植生驳岸

- 1) 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) 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。

d) 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) 堆叠石块之间应留有空隙，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缓、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。

6.8 重要水生生物栖息地与生物多样性保护

6.8.1 保护对象

重要水生生物栖息地与生物多样性保护的對象主要为濒危、珍稀、特有水生生物，维持其生存繁衍所需的水文、水质、底泥、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。

6.8.2 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。

6.8.3 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。

6.8.4 保护原则

生物多样性保护应采取就地保护的原则，并加强管理，防止外来物种入侵。

6.8.5 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。

6.8.6 功能分区

生物栖息地可根据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。

6.8.7 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。

6.8.8 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。

6.8.9 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。

6.8.10 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。

6.8.11 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。

6.8.12 科普宣传（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。

6.9 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，按本文件章节8.7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。

7 水生态系统修复实施

7.1 基本原则

7.1.1 环境友好原则

尊重河道环境本身的特征，尽量选用本地物种。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。

7.1.2 因地制宜原则

不同区域有不同的气候、水文、地貌、土壤条件等地域特征，水生态修复施工时要视具体情况而定。

7.1.3 文明施工原则

水生态修复施工过程中要充分考虑到施工对周边居民及环境的影响，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。

7.1.4 污染自纳原则

施工期间产生的废水等污染物不得乱排，需达标排放，杜绝次生污染。

7.1.5 施工组织原则

7.1.5.1 施工组织计划应考虑河道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。

7.1.5.2 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。

7.1.5.3 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。

7.2 实施细则

7.2.1 施工准备期实施细则

7.2.1.1 施工前应对项目现场进行复核，包括内外污染源、河道现状、行洪需求、电源、生活用水水源、施工用水水源等周边情况与边界条件。

7.2.1.2 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、安全文明施工等。

7.2.2 施工期实施细则

7.2.2.1 施工步骤严格遵循施工组织计划，按时按质按量完成。

7.2.2.2 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。

7.2.2.3 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。

7.2.2.4 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。

7.2.2.5 因水生态修复工程的特殊性质，应注意施工期与调试期之间的衔接与延续性。

7.2.3 调试期实施细则

7.2.3.1 工程由施工阶段过度到调试阶段，应明确工程内容及调试方案。

7.2.3.2 调试期应做好生态监测及数据记录，关注修复河道的动态变化，及时做出反应。

7.2.3.3 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。

7.3 污染源控制施工

7.3.1 概述

针对不同性质的污染源，采取不同的设计方案，采用相应的工程技术措施。

7.3.2 内源污染削减

7.3.2.1 杂草、建渣及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。

7.3.2.2 清鱼主要方式有网捕、排水和超声波赶鱼等。

- a) 网捕：主要方式有拖网、挂网、刺网等，可根据现场实际情况选用捕捞方式。
- b) 排水：主要方式为将河水排干后捕鱼，适用于方便排水的河道。
- c) 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。

7.3.2.3 若河道（网）面积较大，可采用分区降水清鱼，提高施工效率及质量。

7.3.2.4 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。

7.3.2.5 清淤疏浚应根据场地条件、底泥污染情况及后续出路等因素综合考虑确定。

7.3.2.6 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。

7.3.3 外源污染阻控

在控源截污的前提下，外源污染阻控常采用原位和异位处理法，常用技术有漂浮软围隔技术、生态湿地技术、生态稳定塘技术等，具体注意事项如下：

- a) 外源污染阻控技术应因地制宜，根据现场条件和污染源确定合适的技术及其组合。
- b) 水生植物，应优先选择适合当地生长条件，且耐污能力强、抗冻、耐高温、抗病虫害、便于管理的品种，不得选择具有外来入侵风险物种。
- c) 根据阻控技术体系要求，可选择一种或多种植物种类搭配，兼顾后期运营和景观效果。
- d) 人工湿地填料，应具有易挂膜、稳定性高、耐氧化、价格经济、安装方便等特点，为微生物提供良好生境，宜选择具有较大的孔隙率及比表面积，具有良好稳定性的种类。
- e) 常见填料种类：包括不同粒径大小的碎石、陶粒、沸石等，可根据人工湿地填料层级要求和净化效率选择。
- f) 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。
- g) 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。
- h) 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。

7.4 鱼类群落结构调控

7.4.1 鱼类群落结构调控方式

7.4.1.1 概述

主要包含排水、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生物的药物。常见鱼类群落结构调控实施流程见 T/SSESB 5 图 2。

7.4.1.2 排水

主要方式为将河道水排干后人工捕鱼，适用于方便排水、排水量较小的河道。

7.4.1.3 网捕

主要方式有拖网、挂网、刺网等，适用于面积较大且不便排水的河道（网），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。

7.4.1.4 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，一般需结合网捕方式共同完成鱼类群落结构调控。

7.4.1.5 若河道面积较大，可采用降水分区清鱼，提高施工效率及质量。

7.4.2 调控重点

重点控制滤食性鱼类、草食性鱼类、底栖性鲤科鱼类等，重点保留土著肉食性鱼种。以抑制浮游植物和底泥再悬浮，促进浮游动物、水生高等植物生长为原则，促进生态河道生态系统的建立。

7.5 水生维管束植物群落构建

7.5.1 概述

其要点如下：

a) 水生维管束植物的选择应该具有以下特性：

- 1) 达到规格要求、外观良好且生命力强的植株；
- 2) 不得携带影响植物生长的致病菌；
- 3) 具有一定的耐寒耐高温能力。

b) 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出现损伤、死亡。

c) 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。

d) 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。

e) 水生植物到现场后，若不能立即将全部植物进行种植，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。

f) 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。

7.5.2 沉水植物群落构建要点

7.5.2.1 人工插秧法

适宜于丛生的沉水植物，如黑藻、穗花狐尾藻、鳇齿眼子菜等，或单生的多株种植，如将苦草、竹叶眼子菜等 5 株~6 株捆绑后种植。主要要点和实施工艺如下：

1) 主要要点：

a) 须将水体水深调控至 0.3 m 以内，且淤泥深度不超过 0.5 m 为宜，由人工进行单株或多株苗种插

植；

b) 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。由于沉水植物移栽后第一周到第三周内常出现部分植株断枝或死亡现象，比例一般在 20-30 % 左右，尤其是苦草、刺苦草、眼子菜等为甚，应及时打捞或补种；

c) 考虑到沉水植物分蘖、分枝特性，设计单株人工插植法，以确保植株的存活率。具体沉水植物人工插植过程图如图 1 所示，纵向排列，横向种植。

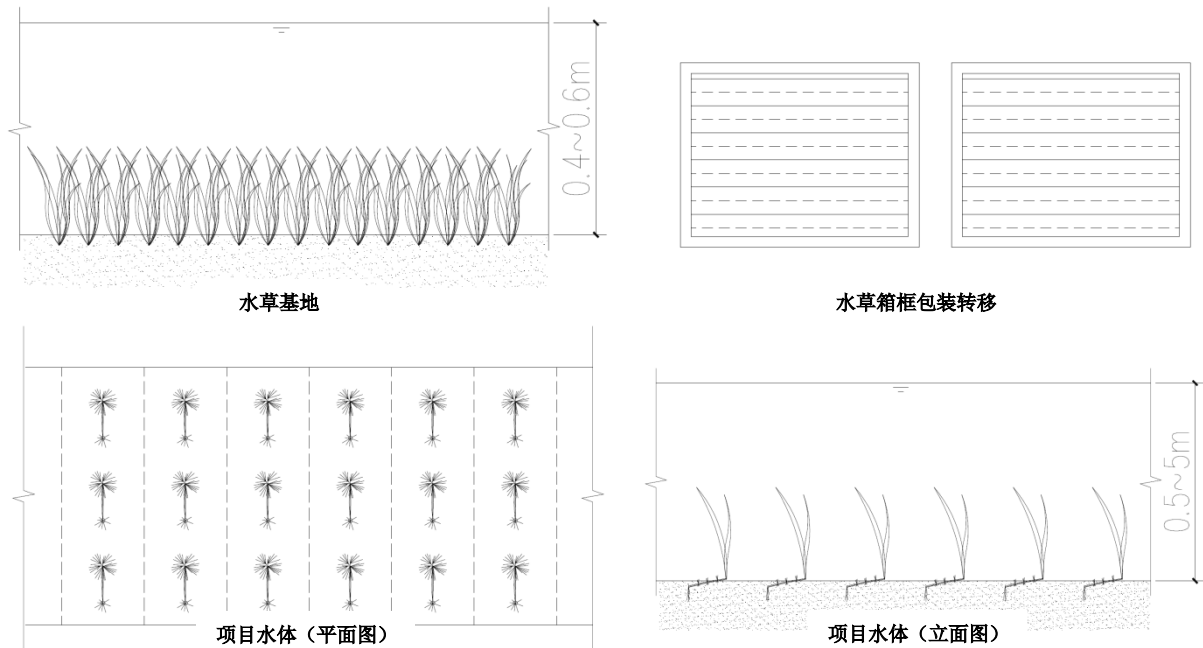


图 1 沉水植物人工插植过程图

2) 沉水植物单株人工插植法实施工艺：

a) 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；

b) 单株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 5cm ~ 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；

c) 单株横向、纵向间距以 5cm ~ 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；

d) 栽植过程中出现断根植株需替换剔除；出现茎叶断枝，打捞即可。

7.5.2.2 插杆种植法

一般采用一头带叉的竹竿或木杆，作业人员用叉叉住植株的茎部，叉入底泥中。适宜水深 0.5m ~ 2.0m 的水中。插杆种植法需根据沉水植物的生长情况，调整种植区域的水深。

7.5.2.3 抛掷法

按照一定的间距把带泥沉水植物（根部）抛掷水中，利用自身重力沉入水底。一般这种方法适合生

根能力特别强的植物种类，可用无纺布包裹土壤和根系，抛掷到水中，此法要在流速相对平缓的河道中应用。

7.5.3 浮叶植物群落构建要点

7.5.3.1 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，主要种植方法有自然式种植、容器种植、种植槽种植及浮岛种植、抛掷法等。

a) 自然式种植

同沉水植物人工插植法。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。具体浮叶植物种植方式示意图参考 T/SSESX 5 图 4。

b) 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。

c) 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。

d) 浮岛种植

主要将植物种植于浮岛上，且能保证一定的抗冲击能力。

e) 抛掷法

直接将植物根部绑重坠如石块、石笼、混凝土块等，抛掷于河道中，使其自然着根生长。抛种后一周内水位不宜超过 1.0 m。

7.5.3.2 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。

7.5.4 挺水植物群落构建要点

7.5.4.1 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。

7.5.4.2 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。

7.6 藻类控制

7.6.1 一般藻类控制方法

参照本文件 6.4.5 章节。

7.6.2 微生物菌剂控制藻类方法

7.6.2.1 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。

7.6.2.2 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。

7.6.2.3 在泼洒微生物菌剂前后 3~7 天，严禁使用化学药剂或茶麸等药品，并保持一定水位，尽量做到不排（进）水。

7.6.3 枝角类大型溞控制藻类方法

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，再开包装投放，并严格按照设计要求的投放量进行投放。

7.6.4 人工或机械打捞方式控制藻类方法

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。

7.6.5 遮光控制藻类方法

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植物，形成遮光效果。

7.6.6 腐殖酸钠或 pH 调整控制藻类方法

参照本文件 6.4.5 章节。

以上方式可根据现场情况联合使用。

7.7 水体透明度提升

7.7.1 物理法

设备到场后需检查“三证”（产品合格证、生产许可证和质量保证书），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。

7.7.2 化学法

参照本文件 6.4.6 章节化学方法部分。

7.7.3 生物法（包括大型溞方法）

参照本文件 6.4.6 章节生物法部分。

7.8 水生动物群落结构优化

7.8.1 水生动物进场后

需检查其成品品种、数量及规格，需对品种进行鉴定，防止野杂鱼混入，选用外观良好无损伤，无疾病的水生动物。

7.8.2 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疾病等。

7.8.3 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 min。

7.8.4 水生动物进场清洗后

一般要在目标水体驯养 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。

7.8.5 投放方法

参照本文件章节 6.4.7。

7.9 水生态系统调试

7.9.1 水生态系统调试阶段

水生态系统构建完成后，须进行水生态系统调试，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，根据需要随时调整水生动植物种类，使其达到最优化。

7.9.2 水质调试

主要包含藻类控制和透明度提升措施，具体方法参照本文件章节 6.4.5、6.4.6。

7.9.3 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。

7.10 其它辅助措施

7.10.1 微生物净化或降磷措施

主要激活土著微生物，通过投放微生物菌剂或环保性试剂的方式，其施工方法同本文件章节 7.6.2。

7.10.2 增氧措施

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。

7.11 水质监测要求

7.11.1 水质监测指标

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。

水质监测参考指标：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 a（Chl-a）等。

7.11.2 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。

7.11.3 水质监测点位及频次

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

水质监测点位应在总体上反映河道的水环境质量状况，尽可能以最少的点位获取足够代表性的环境信息。

7.11.4 水质监测指标及方法

水质监测指标及方法见附表 B.1。

7.11.5 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。重点围绕入河口、河中段、河道出水口、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、目标河道水质遥感监测、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河道运维管理。

7.12 实施期间巡视

7.12.1 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。

7.12.2 施工期间巡查频率

日常巡查为项目例行巡查，巡查频率为每天 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。

7.12.3 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表 14。

表 14 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	垃圾打捞，水面保洁，系统维护，设施维护	带水补栽水生植物以及其他水下作业内容	搬运垃圾、杂草等物料、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，且尽量减少对周围居民活动的影响	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	定期的作业形式	日常作业形式

8 生态健康评价

8.1 城镇河道生态健康综合评价公式

城镇河道生态修复后，以物理指标、化学指标、水生生物指标、人体健康指标和社会服务功能 5 大指标加权求和，构建综合评价指数（CAI）对城镇河道生态健康进行评价。具体说明见表 15。

表 15 城镇河道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
物理指标	1~5	0.1
化学指标	1~5	0.2
水生生物指标	1~5	0.3
人体健康指标	1~5	0.2
社会服务功能	1~5	0.2

8.2 物理指标

8.2.1 选取指标

物理指标选择生态水位、流速、自然岸线保有率、透明度、水色 5 个代表性指标。

8.2.2 生态水位

参照 SL278、SL/Z712，评价河道流量过程的生态适宜程度。对已确定基本生态流量的河段，按已确定的基本生态流量进行评价；对未确定生态流量的河段，按照最枯月流量的 90% 保证率确定基本生态流量，按公式（17）计算。

$$Q_{D_R} = D_m / D \times 100\% \quad (17)$$

式中：

Q_{D_R} 为基本生态流量满足度；

D_m 为评价年生态流量满足天数（d）；

D 为评价总天数（d），周期为完整的日历年。

8.2.3 流速

流速是指水流质点在单位时间内所通过的距离。一般靠近河底、河边处的流速较小，河中心近水面处的流速最大，为了计算简便，通常用横断面平均流速来表示该断面水流的速度。流速的正常单位为 m/s、m/h。

8.2.4 自然岸线保有率

详见本文件章节 5.4。

8.2.5 透明度

利用塞式盘现场测试透明度。

8.2.6 水色

稀释倍数法（目测）。

8.2.7 物理指标评价等级及赋分

物理指标具体评价等级及赋分见表 16。

表 16 物理指标评价等级及赋分

等级	5	4	3	2	1
基本生态水位满足度	≥90%	≥80%	≥70%	≥60%	≥50%
单项赋分	5	4	3	2	1
流速	≥10cm/s	≥5cm/s	≥3cm/s	≥2cm/s	<1 cm/s
单项赋分	5	4	3	2	1
自然岸线保有率	≥90%	≥70%	≥50%	≥30%	<30%
单项赋分	5	4	3-2	1	0
透明度	SD≥1.5	1.5m>SD≥1.0m	1.0m>SD≥0.5m	0.5m>SD≥0.3m	<0.3m
单项赋分	5	4	3	2-1	0
水色	蓝色	绿色	黄色	橙色	黑色
单项赋分	5	4	3	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；综合赋分 X_1 为基本生态水位满足度、自然岸线保有率、透明度与水色赋分平均值。					

8.3 化学指标

化学指标主要选择 GB3838 内水质评价的常规监测指标（见表 1）、营养状态分级指数（见表 3）及自净能力（主要是溶解氧浓度）、底泥营养盐综合污染指数（表 4）、底泥有机指数（表 5）、底泥重金属潜在生态风险指数（见表 6）作为代表性指标，具体评价等级及赋分见表 17。

表 17 化学指标评价等级及赋分

等级		1	2	3	4	5	6
常规监测指标		I类 ¹⁾	II类	III类	IV类	V类	劣V类
单项赋分		5	4	3	2	1	0
营养状态指数 TLI		<30	30~40	40~50	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)	≥7.5	≥6	6~5	5~3	3~2	<2
	饱和度 (%)	≥90	/	/	/	/	/
单项赋分		5	4	3	2	1	0
底泥营养盐综合污染指数 (FF)		<0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0	>2.0	/
单项赋分		5	4	3	2	1	/
底泥有机指数 (OI)		<0.03	0.03~0.05	0.05~0.20	0.20~0.5	≥0.5	/
单项赋分		5	4	3	2	1	/
底泥重金属潜在生态危害指数 (RI)		<150	150~300	300~600	≥600		/
单项赋分		5	4	3	2	1	/
综合赋分 X_2 ²⁾							
注：1) I类自净能力可选择溶解氧浓度或饱和度； 2) 综合赋分 X_2 为氨氮 (NH ₃ -N)、湖泊营养状态指数、自净能力（主要是溶解氧浓度）、底泥营养盐综合污染指数、底泥有机指数、底泥重金属潜在生态危害系数赋分平均值。							

8.4 水生生物指标

水生生物指标选择大型水生植物、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物、鱼类、外来入侵、河岸带植被覆盖度等指标进行综合评分，具体评价指标及赋分见表 18。

水生生物指标其值 X_3 为水生植物、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物、鱼类、河岸带植被覆盖度等 6 项指标加权求和计算，具体评价赋分的分值及建议权重如表 19 所示。

表 18 水生生物指标评价指标及赋分

类型	指标与赋分	等级				
		5	4	3	2	1
大型水生植物	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 (%)	≤5	5~6	7~8	9~10	>10
	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	香农-维纳多样性指数	>3	2~3	1~2	0~1	0
	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					
河岸带植被	覆盖度 (%)	≥80	60~80	30~60	10~30	<10
	赋分	5	4	3	2	1
	F 单项综合赋分					
外来入侵	入侵物种	大藻	水葫芦	水花生	福寿螺	雀鳝等
	赋分	-0.1				
综合赋分 (X₃)						

注： 1) 水生植物指标选用沉水植物覆盖度、浮叶植物覆盖度和挺水植物覆盖度评价，建议权重分别为 0.6、0.2、0.2。
2) 若发现有入侵物种，在综合赋分 CAI 中扣除。

表 19 水生生物指标评价赋分公式说明表

要素	分值范围 x_i	建议权重 w_i
水生植物	1~5	0.3
浮游植物	1~5	0.1
浮游动物	1~5	0.1
大型底栖动物	1~5	0.2
鱼类	1~5	0.2
河岸带植被覆盖度	1~5	0.1

注： 水生植物指标选用沉水植物覆盖度、浮叶植物覆盖度和挺水植物覆盖度评价，建议权重分别为 0.6、0.2、0.2。

浮游植物采用香农-维纳多样性指数（Shannon-Wiener）进行评价。

香农-维纳多样性指数结果按照公式（18）计算：

$$H = -\sum_{i=1}^S \left(\frac{n_i}{N}\right) \log_2 \left(\frac{n_i}{N}\right) \quad (18)$$

式中：

H——香农-维纳多样性指数；

n_i ——一种 i 的个体数；

N——生物总体个数；

S——物种数。

浮游植物多样性指数评价按照表 20 进行。

表 20 浮游植物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	$H = 0$	$0 < H \leq 1$	$1 < H \leq 2$	$2 < H \leq 3$	$H > 3$

8.5 人体健康指标

人体健康指标选择重金属汞（Hg）和藻毒素 2 个指标为代表性指标，具体评价等级及赋分见表 21。

表 21 人体健康指标评价等级及赋分

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 (X ₄)					
注：综合赋分 X ₄ 为重金属（Hg）和藻毒素赋分平均值。					

8.6 社会服务功能

河道社会服务功能评价包括防洪排涝能力评价、人文景观价值评价 2 部分。

8.6.1 防洪排涝能力评价

防洪排涝能力评价参照 GB50201，并按照 GB 50201 的要求确定河道不同河道的防洪标准。

河道防洪排涝能力评价计算公式及赋分按照以下公式（19）计算和赋分：

$$P_{fc} = \frac{L_{fc}}{L} \times 5 \quad (19)$$

式中：

P_{fc} 为防洪排涝能力赋分值；

L_{fc} 为达标河道长度；

L 为河道总长度。

防洪排涝能力评价等级及赋分见表 22。

8.6.2 人文景观价值评价

通过现场查看，从历史古迹、民俗风情、特色建筑、亲水设施等几个方面进行综合评价。

河道人文景观价值评价等级及赋分参见表 22。

表 22 防洪排涝能力与人文景观价值评级及赋分

等级	5	4	3	2	1
防洪排涝能力	>4.5	>4.0	>3.5	>3.0	>2.5
赋分	5	4	3	2	1
人文景观价值	观赏性很好，亲水设施丰富	观赏性较好，亲水设施较多	观赏性一般，亲水设施一般	观赏性较差，亲水设施较少	观赏性很差，亲水设施缺乏
赋分	5	4	3	2	1
综合赋分 (X_5)					
注：综合赋分 X_5 为防洪排涝能力和人文景观价值赋分平均值。					

8.7 城镇河道生态健康综合评价

综合评价指数 (CAI) 其值为物理指标、化学指标、水生生物指标、人体健康指标、社会服务功能等 5 项指标加权求和计算。

城镇河道生态健康综合评价指数 (CAI) 计算公式如下：

$$CAI = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (20)$$

式中：

CAI——城镇河道生态健康综合评价指数；

x_i ——评价要素综合赋分；

w_i ——评价要素权重。

城镇河道生态健康综合评价分级标准见表 23。

表 23 城镇河道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)	$CAI \geq 4$	$4 > CAI \geq 3$	$3 > CAI \geq 2$	$2 > CAI \geq 1$	$CAI < 1$
注：1) 若发现有入侵物种，在综合赋分 CAI 中扣除 0.1；					
2) 若发现有蓝绿藻爆发，在综合赋分 CAI 中扣除 1。					

附录 A

(资料性)

水生态系统修复设计常用植物类型

表 A.1 常见沉水植物

序号	中文名	拉丁名	科名	适应流速 (CM/S)	种植带
1	苦草	<i>Vallisneria natans</i>	水鳖科	>3	水域内
2	轮叶黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	水鳖科	<3	水域内
3	刺苦草	<i>Vallisneria spinulosa</i>	水鳖科	>5	水域内
4	金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	金鱼藻科	3~5	水域内
5	竹叶眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>	眼子菜科	>3	水域内
6	光叶眼子菜	<i>Potamogeton lucens</i>	眼子菜科	>3	水域内
7	微齿眼子菜	<i>Potamogeton maackianus</i>	眼子菜科	>3	水域内
8	篦齿眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i>	眼子菜科	>3	水域内
9	菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	眼子菜科	>3	水域内
10	小茨藻	<i>Najas minor</i>	茨藻科	<3	水域内
11	大茨藻	<i>Najas marina</i>	茨藻科	<3	水域内
12	东方茨藻	<i>Najas orientalis</i>	茨藻科	<3	水域内

表 A.2 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 A.3 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 B
(资料性)
水质监测指标及方法

表 B.1 水质监测指标及方法

水质指标	监测方法	方法依据
高锰酸盐指数 (COD_{Mn})	高锰酸钾氧化法	GB 11892
总磷 (TP)	钼酸铵分光光度法	GB 11893
水温	温度计	GB 13195
五日生化需氧量	稀释与接种法	HJ 505
溶解氧 (DO)	电极法	HJ 506
氨氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)	纳氏试剂比色法	HJ 535
总氮	碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法	HJ 636
化学需氧量(COD_{Cr})	重铬酸盐法	HJ 828
叶绿素	分光光度法	HJ 897
pH 值	pH 测定仪	《水和废水监测分析方法》第四版
透明度 (SD)	塞氏盘法	《水和废水监测分析方法》第四版

参考文献

- [1] GB 11892 水质 高锰酸盐指数的测定
 - [2] GB 11893 水质 总磷的测定 钼酸铵分光光度法
 - [3] GB 13195 水质 水温的测定 温度计或颠倒温度计测定法
 - [4] HJ 505 水质 五日生化需氧量（BOD₅）的测定 稀释与接种法
 - [5] HJ 506 水质溶解氧的测定电化学探头法
 - [6] HJ 535 水质 氨氮的测定 纳氏试剂分光光度法
 - [7] HJ 636 水质 总氮的测定 碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法
 - [8] HJ 828 水质 化学需氧量的测定 重铬酸盐法
 - [9] 范成新等，湖泊沉积物调查规范[M]，科学出版社
 - [10] 陈大庆等，河流水生生物调查指南[M]，科学出版社
 - [11] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》委会，水和废水监测分析方法（第四版）[M]，中国环境科学出版社
-

《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》

(征求意见稿)

编制说明

《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》

标准编制组

二〇二三年七月

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.....	3
2.1	城镇河道水生态面临的问题.....	3
2.2	城镇河道水生态的主要污染源.....	3
2.3	环保标准及工作要求.....	4
3	常见水生态修复技术.....	4
3.1	国内外相关技术标准文献情况.....	4
3.2	本标准的制定及其与国内外相关标准的关系.....	5
4	标准制修订的基本原则和技术路线.....	6
4.1	标准制修订的基本原则.....	6
4.2	标准制修订的技术路线.....	7
5	标准的技术内容.....	8
5.1	标准的适用范围.....	8
5.2	标准的结构框架.....	9
5.3	术语与定义.....	9
5.4	关键技术内容说明.....	11
6	与开题报告的差异说明.....	13
7	标准征求意见稿技术审查情况.....	13
8	实施本标准的建议.....	13
9	标准征求意见情况（送审稿增加内容）.....	13
10	参考文献.....	14

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[1]。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，这些对现有的城镇河道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。为深入贯彻落实习近平生态文明思想和习近平总书记“十六字”治水思路，“十四五”期间，上海市重点以生态清洁小流域建设为抓手，集中连片、系统治理，统筹水系综合整治、水土流失治理、河湖生态修复、面源污染防治和农村人居环境改善，全面提升水土保持治理水平，修复河湖生态，努力打造“河湖畅通、生态健康、清洁美丽、人水和谐”的幸福河湖，为加快推进河湖生态复苏和水土保持高质量发展发挥示范引领作用。与传统河道整治的区别也有了3个方面的转变：1）治理目标：从水环境改善转变为水生态系统修复；2）治理方式：从单条河道整治转变为集中连片治理；3）治理内容：从以污染源治理为主转变为生态综合治理。河道生态治理的重要性日益突出。因此，开展城镇河道生态系统构建与生态修复研究及示范对于实现上海乃至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。

2023年2月13日，上海市环境科学学会发布《关于〈城镇河道健康水生态系统构建与生态修复技术指南〉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）2023年1月10日成立标准编制组，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

河道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河道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河道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，为城镇河道健康水生态系统的构建及标准指南的制修订提供理论性支持。

目前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生态健康评价技术规程》（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生态健康评价，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。

（3）编制过程

2023年3月22日，完成《城镇河道生态系统构建与生态修复技术指南》初稿，召开开题论证会，上海市环境科学学会及与会专家提出以下要求：将指南的名称修改为《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》；建议结合城镇河道的特点从物理、化学、生物及健康等方面开展生态系统评估；建议重点考虑城镇缓流河道生态修复关键技术。

2023年4~5月，编制组根据指南研究任务和研究内容，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。

2023年6~7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《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》（征求意见稿）及编制说明。

2 标准制修订的必要性分析

2.1 城镇河道水生态面临的问题

我国河道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，严重影响了河道生态系统的修复与构建，无法形成河道长效稳态^[2-3]。河流污染日益严重，面临着水资源减少，水生态环境急剧恶化；追求河岸硬化覆盖、片面强调防洪功能，形态单一化，河道生态功能基本丧失等一系列问题，最终难以形成生态、健康的城镇河道生态系统。

城镇河道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。针对城镇河道生态修复过程中，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，本研究基于沉水植物群落快速构建技术，探讨城镇河道生态系统构建与生态修复的关键技术和长效稳定机制，以其为城镇河道生态修复及后期长效运营提供技术支撑。本指南适用于城镇河道的水生态修复及运行维护，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 城镇河道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

城镇河道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河道，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。景观河道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。自然河道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。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 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河道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^[5-9]。一些靠高成本手段维持水质的水体，即使表面上达标，实际上并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 常见水生态修复技术

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	

3.1 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。

- GB 3838 地表水环境质量标准
- GB 15618 土壤环境质量标准
- GB 50201 防洪标准
- GB 50286 堤防工程设计规范
- GB/T 18921 城市污水再生利用 景观环境用水水质
- GB/T 21010 土地利用现状分类
- GB/T 32722 土壤质量土壤样品长期和短期保存指南
- CJJ/T 54 污水自然处理工程技术规程
- HJ 710 生物多样性观测导则
- HJ 2005 人工湿地污水处理工程技术规范
- HJ 493 水质样品的保存和管理技术规定
- HJ 565 环境保护标准编制出版技术指南
- HJ 710.7 生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类
- HJ 710.8 生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物
- HJ 710.12 生物多样性观测技术导则 水生维管植物
- HJ 897 水质 叶绿素 a 的测定 分光光度法
- HJ/T91 地表水和污水监测技术规范
- SL 368 再生水水质标准
- SL 613 水资源保护规划编制规程
- SL 709 河湖生态保护与修复规划导则
- SL/T 793 河湖健康评估技术导则
- SL/T 800 河湖生态系统保护与修复工程技术导则
- SL 196 水文调查规范
- SL395 地表水资源质量评价技术规程
- SL/Z 712 河湖生态环境需水计算规范
- T/CSES 08 河岸带生态环境质量评估方法指南
- T/CECS 919 城市河道生态健康评价技术导则
- T/SSESB 5 城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南

3.2 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，为城镇河道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；《河流健康评价技术规范》(标准号 DB62/T 4681-2023)，甘肃省地方标准；《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 1.1-2020) 等的规定要求。立足于城镇河道水生态系统修复，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，并与城镇河道水生态修复现场交流实际状况，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；

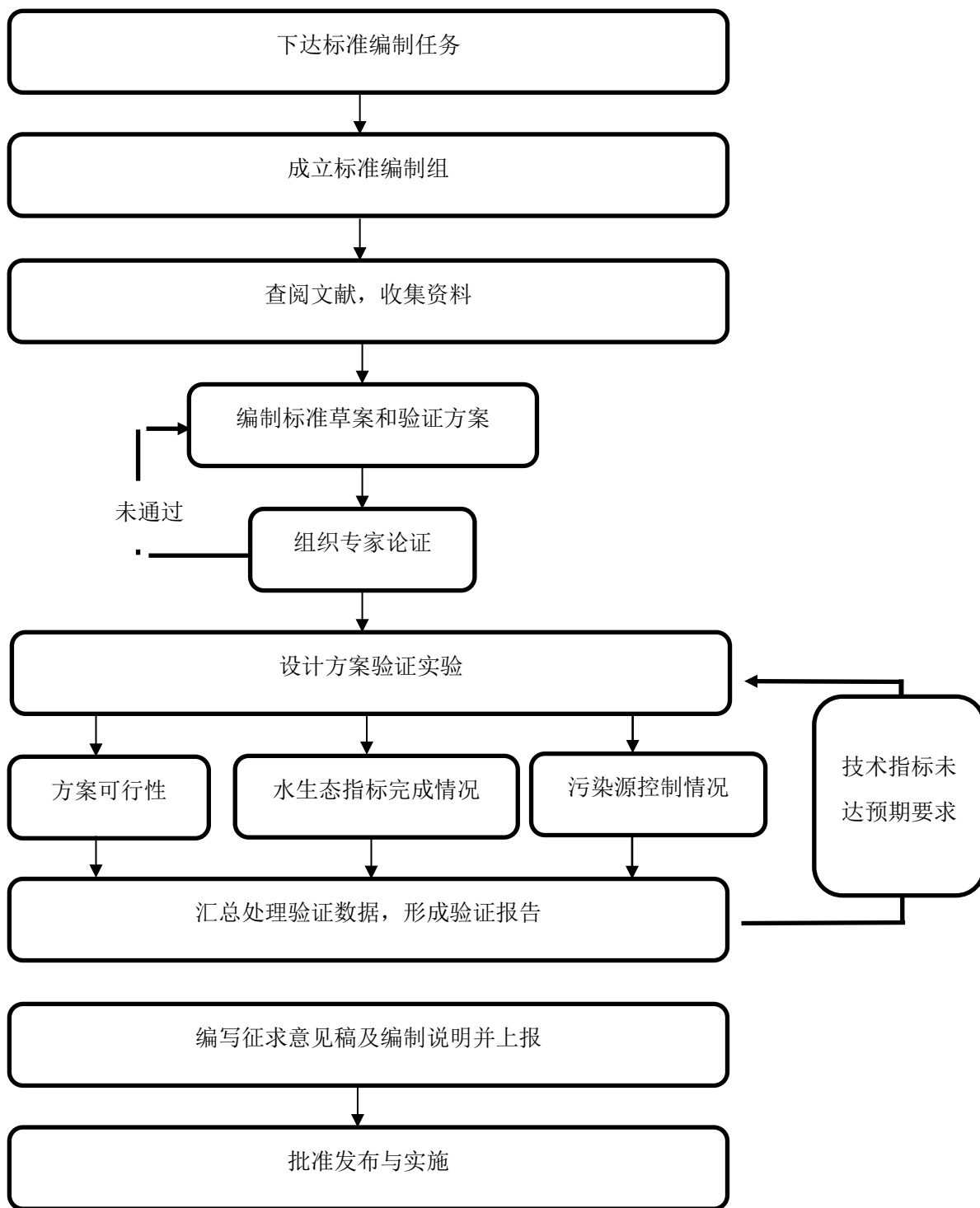
(4) 征求意见稿上报上海市环境科学学会，向生态环境相关部门、科研院所、大专院校等公开征求意见；

(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

本标准适用于城镇中小河道中水深相对较浅（小于 5m）、流速较缓（小于 10cm/s）的河道中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染阻控、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。水深大于 5m 的城镇河道也可参照。

本标准的主要内容包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、水生态环境调查、水环境评估、水生态系统修复方案设计、水生态系统修复实施、生态健康评价等。

5.2 标准的结构框架

标准共有八章两个附录，主要内容如下：

第一章为适用范围：概述了本文件的编制目的和适用范围。

第二章为规范性引用文件：介绍了本标准中引用的相关标准文件。

第三章为术语和定义：列出了在本标准中出现的相关术语及其定义。

第四章为水生态环境调查，概括了水生态调查的基本内容，主要包含城镇河道基础信息、污染源、水环境特征、底质沉积物、水生态、湖滨带调查等。

第五章为水环境评估，列出了水环境评估内容，主要包括水质、底泥环境质量、自然河道保有率。

第六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、城镇生态河道水生态系统修复、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。

第七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。

第八章为生态健康评价方法，结合城镇河道的特点从物理、化学、生物及健康等方面开展生态系统评估，总而言之总结出城镇河道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 是水生态系统修复设计常用表格，例举了常见沉水植物、常见浮叶植物及常见挺水植物表格；附录 B 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。

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) 河道 river

河水流经的路线，也是陆地表面宣泄水流的通道。可分为省级河道、市级河道、县级河道、和乡级河道四个等级。

(2) 城镇河道 urban river

流经城镇区域的河段及与河段毗邻的一定区域的总称。

(3) 河床 river channel

亦称“河槽”，河谷中被水流淹没的部分，能够随水位涨落而变化。其形态受地形、地质、土壤、水流冲刷、搬运和泥沙堆积的影响。

(4) 河岸带 riparian zone

河道常水位的两侧，直至河水影响消失为止的地带。

(5) 河网 river net

纵横交错分布较密的河道所构成的水系。

(6) 河道生态系统 river ecosystem

河道水域及其河岸带组成的生态系统，包括水域空间和水、陆生物群落交错带。

(7) 生境 habitat

生物个体、种群或群落生活地域的环境，包括必需的生存条件和其他对生物起作用的生态因素。

(8) 生态驳岸 ecological revetment

亦称“生态护坡”，通过工程措施建设为具有一定植物分布生长的岸坡。

(9) 生态河道 ecological river

在满足河道基本水利功能的基础上，依靠自然作用和少量人为干预，能长期维持比较完整的水生态系统和河岸生态系统的河道，并具有一定的生态景观效果。

(10) 生态水位 ecological water level

能维持河道水生态系统功能的最低水位。

(11) 生态流量 ecological flow

水流区域内保持生态环境所需要的水流流量，是维持下游生物生存生态平衡的最小水量。

(12) 行洪能力 flood carrying capacity

河道在最高水位时，其宣泄洪水流量的能力。

(13) 浮游植物 phytoplankton

亦称“浮游藻类”，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，属于水域的初级生产者。

(14) 浮游动物 zooplankton

一类在水中营浮游生活的动物。一般包括原生动物、枝角类、轮虫和桡足类。

(15) 底栖动物 zoobenthos

生活史全部或大部分时间生活于水体底部的水生动物群。

(16) 水生维管束植物 aquatic vascular plants

亦称“水草”，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。

(17) 水体污染源 water pollution source

造成水域环境污染的污染物发生源。

(18) 生态清淤 ecological dredging

运用适宜机具精准去除重污染河道的薄层淤泥的工程措施，可为河道生态修复和自然恢复创造必要的生境条件。

(19) 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，增加大型浮游动物生物量，从而降低浮游植物数量。

(20) 水生态系统修复 aquatic ecological restoration (AER)

指通过一系列的修复和保护措施，将已经退化的水生生态系统恢复到可长久保持稳定的水平，使水生生态系统具有更高的生态耐受性。

(21) 河道健康 river health

河流系统在变化的自然和人文环境中，能够保持结构稳定和系统各组分间的相对平衡，实现有活力的、多样的系统功能，并具有可持续利用和通过自我调整而趋于完善的能力。

(22) 生态系统健康评价 ecosystem health valuation

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。可分为指示物种法和指标体系法两种。

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

指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。

(24) 生物多样性指数 Biological Diversity

指反映一定区域或空间上生物多样性高低的数值指标。

5.4 关键技术内容说明

根据城镇河道水生态修复的修复流程以及国家对城镇河道水生态修复的要求，本指南包括：“适用范围”、“术语与定义”、“水生态环境调查”、“水环境评估”、“水生态系统修复方案设计”、“水生态系统修复实施”、“水生态健康评价”等八个部分。

“水生态环境调查”部分，概括了水生态调查的基本内容，主要包含城镇河道基础信息、污染源、水环境特征、底泥、水生生物、湖滨带调查等，并明确了每个调查的内容及方法。

“水环境评估”部分，列出了水环境评估内容，主要包括水质、底泥环境质量、自然河道保有率。对待修复的城镇河道先进行水环境评估，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、城镇生态河道水生态系统修复、生态补水、水动力循环、曝气增氧、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。

特别是城镇生态河道水生态系统修复设计，结合多年的工程经验，根据城镇河道的富营养化程度，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，河道与湖泊相比参数有所调整。

“水生态系统修复实施”，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。

“水生态健康评价”部分，明确城镇河道水生态健康评价方法，从物理、化学、水生生物、人体健康指标及社会服务功能五方面对城镇河道进行健康评价。对城镇河道实行水生态修复设计及施工，需对城镇河道水生态系统的健康进行评价。城镇河道健康评价方法是在 T/SSESB 5《城镇湖泊生态系统构建与生态修复指南》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、人体健康指标和社会服务指标对修复后的城镇河道进行综合评价。物理指标选择生态水位、流速、自然岸线保有率、透明度、水色；化学指标包括 GB3838 内水质评价的常规监测指标、营养状态分级指数及自净能力（主要是溶解氧浓度）、底泥营养盐综合污染指数、底泥有机指数、底泥重金属潜在生态风险指数；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、鱼类等，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；社会服务功能指标包括防洪排涝能力评价、人文景观价值评价 2 部分。

“附录”部分是对标准主体的补充性说明，附录 A 是水生态系统修复设计常用表格，例举了常见沉水植物、常见浮叶植物及常见挺水植物表格，明确城镇河道沉水植物适宜流速；附录 B 明确水质监测指标及方法。

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《城镇景观河道生态系统构建与生态修复指南》改为《城镇河道生态系统评估与修复技术指南》。

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中小河道中水深相对较浅（小于 5m）、流速较缓（小于 10cm/s）的河道中水生态系统构建与生态修复，明确缓流河道流速。

3、城镇河道生态修复前评估内容完善：水环境评估内容主要包括水质、底泥环境质量、自然河道保有率，增加底泥营养状况评估内容。

4、调整生态修复后评价内容，根据开题论证会专家意见，沿用湖泊团标评价方法，是一种创新，从物理、化学、生物、健康及社会服务功能等方面开展生态系统评估。

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

本标准适用于城镇中小河道中水深相对较浅（小于 5m）、流速较缓（小于 10cm/s）的河道中水生态系统构建与生态修复，涉及外源污染阻控、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。水深大于 5m 的城镇河道也可参照。旨在指导和规范城镇河道生态系统构建与生态修复工程。城镇河道生态修复相关人员可将本标准作为了解、评估城镇河道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
- [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）