武汉市湖泊水生态修复与评价技术规程

组织编制单位：武汉市水务局

技术支持单位：中国科学院水生生物研究所

2024 年 12 月

目录

前言 4

1 适用范围 5

2 规范性引用文件 5

3 术语与定义 6

4 基本规定 7

4.1 一般要求 7

4.2 目标与原则 7

4.3 技术流程 8

5 湖泊生态调查与评估 9

5.1 生态调查 9

5.2 生态评估与诊断 10

6 湖泊生态修复总体规划设计 11

6.1 一般规定 11

6.2 湖泊生态修复目标 12

6.3 湖泊水生态修复措施 13

7 湖泊生态修复工程实施与监管 21

7.1 工程实施 21

7.2 工程监理 21

7.3 工程验收 22

8 湖泊生态修复工程运维与管理 23

8.1 一般规定 23

8.2 运行维护措施 23

8.3 突发场景运行维护 25

9 湖泊生态修复成效评估 26

9.1 评估原则 26

9.2 评估步骤与要求 26

9.3 评估内容与指标 28

9.4 评估结果与报告 32

附录 A 湖泊水生生物恢复措施可行性诊断方法要点 33

附录 B 常用河湖生态修复工程技术适用条件与技术性能表 36

附录 C 湖泊生态修复设计与实施细节方法 49
附录 D 评估指标解读、数据来源与赋分标准 56
条文说明 67
参考文献 81

前言

湖泊是重要的基础性自然资源，是生态文明建设的重要载体。近年来，我国湖泊生态修复开展了大量探索和实践，但仍存在一些问题，主要体现为湖泊生态修复设计标准、规范和技术体系仍不完善，对因地制宜欠考虑，对前期调查与诊断、方案设计与施工，以及管理维护等过程缺少专业判断，导致修复效果好坏参半。

为此，武汉市水务局（湖泊局）组织编制《武汉市湖泊水生态修复与评价技术规程》，总结近年来湖泊水生态修复治理思路和措施，调查武汉典型湖泊修复后水生态状况，综合评价湖泊治理方案合理性及效果。旨在通过制订本规程，为武汉市湖泊生态修复工程的规范化、标准化以及成效评估提供技术支撑和依据。规程编制组结合武汉市湖泊情况，经广泛调研与总结，参考国内外相关标准，并在广泛征求意见的基础上，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》的规定编制了本规程。

本文件由武汉市水务局（湖泊局）提出并归口。

本文件的组织编制单位：武汉市水务局

本标准起草单位：中国科学院水生生物研究所

本标准主要起草人：XXX

本文件主要审查人：XXX

本文件实施应用中的疑问，可咨询武汉市水务局（湖泊局）水资源处。在执行过程中由中国科学院水生生物研究所主编单位负责技术内容的解释，如有意见和建议请邮寄至武汉市武昌区东路南路 7 号（邮编 430072），以供今后修订时参考。

1 适用范围

本文件规定了武汉市湖泊水生态修复工程及其成效评价的术语与定义、总体要求、技术路线，以及湖泊生态调查与评估、湖泊生态修复总体方案设计、工程实施与监管、工程维护与管理和工程成效评估章节内容。。

本文件适用于武汉市行政区域所辖的湖滨带受到侵占、受污染较严重、生态功能退化的湖泊水体及湖滨带生态修复综合治理工程的前期调查、设计、实施、验收和整体效果评估。

2 规范性引用文件

本规程内容主要引用或参考下列文件中的规定内容，是构成本文件的必不可少的基础。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 50400 建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范

GB 50286 堤防工程设计规范

GB/T 14581 水质 湖泊和水库采样技术指导

SL 395 地表水资源质量评价技术规程

SL 709 河湖生态保护与修复规划导则

SL 219 水环境监测规范

SL 379 水工挡土墙设计规范

SL/Z 712 河湖生态环境需水计算规范

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

T/CSES 79 受损湖泊生态修复技术导则

3 术语与定义

3.1 湖泊健康评估 lake health assessment

以历史参考状态、未受损状态或最佳可达状态为参照基准，以水量适宜、岸线完好、水质优良、生机盎然、公众满意、管护完善为目标，对湖泊自然生态状况的优劣和社会服务功能的可持续性的评估。

3.2 湖泊生态系统退化 lake ecosystem degradation

湖泊生态系统的结构或功能受到损伤，物质循环、能量流动和信息传递过程出现失调，导致其在一定程度上丧失自身调节功能的过程。湖泊生态退化表现形式主要有：水体生境退化、湖泊富营养化，湖滨带退化和水生生物资源多样性丧失等。

3.3 湖泊生态修复 ecological restoration of lake

从自然生态系统演替规律和内在机理出发，采用生境修复和生物群落恢复等人工辅助修复措施，消除或减轻湖泊生态系统胁迫压力，提高生态系统自我修复能力，使受损湖泊生态系统结构和功能逐步恢复并向良性循环方向发展。

3.4 湖泊水生态修复工程 aquatic ecological restoration projects in lake

指采用工程措施对退化或受损的湖泊水生态系统进行恢复，使其水生态系统逐步趋于可自我维持的健康状态和满足生态功能需求，一般包括污染控制、水质提升、水文调控、湖滨带修复、底质修复和水生物修复等工程措施。

3.5 生态修复工程运行与维护 operation and maintenance of ecological restoration engineering

为保护与修复湖泊生态系统，实现良性循环，达到污染防控、水质净化、功能提升、水源补给等目标，对水生动植物、附属建（构）筑物及相关设施设备所采取的操作、维护与管理、水质水量调控措施。

3.6 湖泊水生态修复成效评价 effectiveness evaluation of aquatic ecological restoration projects in lake

指一定湖泊区域内，采用科学合理的方法，对工程实施后生态系统得到恢复这一目标的完成程度和可衡量的工作成效进行量化分析和评价。

3.7 胁迫因子 stress factor

对湖泊生态系统正常的结构、功能及平衡造成损害的人类活动或自然因素。

3.8 水文情势 hydrologicalregime

水文要素时空变化的态势和趋势。在生态水文学中常用流量、频率、发生时机、延续时间、流量变化过程和水位变化过程等具有生态学意义的要素表示。

3.9 湖滨带 lakeshore

湖泊沿岸的水陆过渡带，其核心范围是湖泊最高水位线和最低水位线之间的水位变幅区，并可依据湖泊水-陆生态系统的作用特征分别向陆向和水向辐射一定的距离。

3.10 生态水位 ecological water level

能够维持湖泊生态系统正常生态与环境功能、生物多样性和生态系统完整性等所需的水位范围。

3.11 生态护岸 Ecological revetment

指在具备岸坡防护基本功能的基础上，具有水体与土壤相互渗透、一定的植物生长条件和生态恢复功能以及一定程度上增强河湖自净能力和自然景观效果的护岸结构形式。

4 基本规定

4.1 一般要求

4.1.1 湖泊生态修复应在入湖污染负荷得到有效控制，以及人类不当活动对湖泊生态系统的胁迫压力得到缓解的基础上实施。

4.1.2 湖泊生态修复应严守湖泊生态保护红线和附近特殊环境敏感目标的管控要求，不得在红线和敏感目标范围内实施或开展与生态修复无关的工程和活动。

4.1.3 湖泊生态修复应与流域内的河湖水系连通，水网建设等关联区域生态修复工程相协调。

4.1.4 湖泊生态修复应考虑民生需求，与社会经济发展相适应。

4.2 目标与原则

4.2.1 湖泊生态修复应坚持生态优先、尊重自然、问题导向、系统设计、分类施策、分阶段

实施的原则，优先选择节能低碳、维护成本低、环境友好的材料和修复技术。

4.2.2 湖泊生态修复应遵循生态系统演替规律，以构建合理的水生态系统结构和顺畅的物质能量流，重建生态系统完整性，保护和恢复湖泊水生态功能为总体目标。

4.2.3 湖泊生态修复应统筹考虑湖泊生态功能定位和滨水空间开发利用现状，兼顾短期修复效果和长期可持续性，在湖泊生态调查与评价基础上，制定明确的修复目标和可量化考核指标，具体见 6.2 章节内容。

4.2.4 湖泊生态修复成效评价应采用定量评价与定性评价相结合的监测评价标准和方法，按照“三水统筹”原则选择具有普适性和简便易行的考核与参考指标，确保在操作层面上实现可监测、可统计、可评估。

4.3 技术流程

4.3.1 湖泊生态修复工程技术流程宜包括湖泊生态调查与评估、制定生态修复目标和考核指标、总体方案设计、工程实施与监管，工程维护与管理，工程成效评价，具体步骤内容可参照图 1。

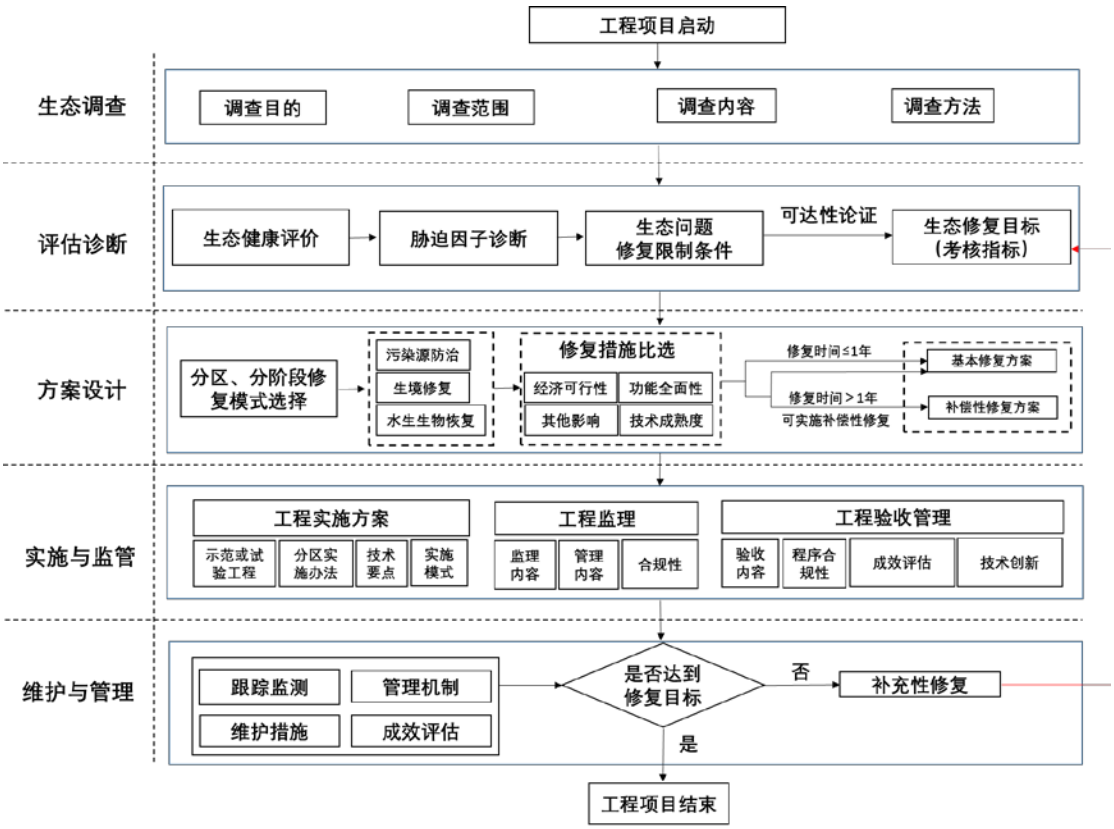

图 1 湖泊生态修复工程技术流程图

5 湖泊生态调查与评估

5.1 生态调查

5.1. 1 湖泊生态调查宜分为基本调查和专项调查两步，应通过资料收集、现场踏勘与调研,野外采样等调查形式相结合的方式获取湖泊的历史、现状数据和资料。

5.1.2 调查范围应包括湖泊的湖滨带、敞水区、出入湖河流，以及相应的汇水区域。调查的时间、频次和空间尺度应反映湖泊生态修复区的时间和空间变化特征。

5.1.3 基本调查内容应包括:

a)湖泊地理位置、流域范围与边界、流域面积和附近特殊环境敏感目标等地理信息;

b)水域面积、汇水区域面积、湖泊岸线、湖泊地形和基本地貌单元、河湖水系连通性，以及土地利用类型与面积、土壤类型及面积、植物类型与面积等地形地貌信息;

c)湖泊流域行政区的划分、产业结构、主导工农业类型与规模、人口、人均 GDP 总量、湖泊主要功能、保护区等社会经济发展信息;

d)湖泊流域的气温、风速风向、日照时数、年均降雨量与蒸发量及其年分布状况等气象条件;

e)出/入湖水量、多年平均蓄水量、多年平均水深（水位）及节律、单次上涨最高水位和持续时间及闸坝影响，生态流量（水位）、补给系数、换水周期等水文情势情况;

f)地表水资源、地下水资源、水资源总量及水资源开发利用状况等水资源情况;

g)透明度、pH、TN、TP、氨氮、COD 等主要水质指标的湖泊水体功能区达标状况;

h)淤泥深度、物理性状（石砾/砂粒/黏粒、淤泥厚度、含水率、颜色）等沉积物基本状况;

i)主要水利工程、重大治理措施等基本情况;

j)主要本土水生生物的概况;

5.1.4 专项调查应包含湖泊水生生物与生境状况。

a)水生生物调查应包括湖滨带与湖泊水域内的藻类水华及浮游植物、浮游动物、

水生植物、底栖动物、鱼类，入侵种、土著物种、珍稀濒危物种等，相关调查方法宜参考 GB/T 14581、HJ 710.7，HJ 710.8、HJ 710.12 以及《湖泊生态安全调查与评估技术指南》相关章节。

b)湖泊生境调查应包括湖泊岸线与基底、水量与水位、保护地等物理生境调查，水质类别、营养指标、耗氧物质、有毒有害物质污染程度及沉积物污染状况等化学生境调查，以及生态胁迫因子调查，主要包括物理生境受损、富营养化及水污染、生物群落受干扰等。相关调查要求可参照 GB/T 25173、DB4201/T 666、HJ 1232 、T/CSES 79 的相关规定。

5.2 生态评估与诊断

5.2.1 应参照湖泊生态健康状况评价的指标体系对湖泊生境和水生生物进行分项评价，方法可参考 DB42/T 1771 和 SL/T 793。

5.2.2 应在以下状态中选择最优状态作为湖泊生态健康参照系：1）大规模开发利用之前；2）自然水文节律改变之前；3）满足水环境功能的水质要求；4）流域、湖泊水系、湖群等不同尺度的现状评价为健康或历史上生态环境状况优良的其他湖泊；5）采用专家经验方法。

5.2.3 应以参照系湖泊生态健康状态为标准，对湖泊现状各指标值进行评估，根据差异程度将湖泊生态退化程度，即健康状态分为健康、轻度退化、中度退化和重度退化四个级别，具体评价方法可参照 DB42/T 1771 和 T/CSES 79 的相关规定。

5.2.4 应根据生态健康评价结果，对照健康的湖泊生态状态进行损害要素和生态问题评估，技术分析方法和流程可参考 HJ 1174、TD/T 1068、GB/T 39791.2 和 GB/T 39792.2。

5.2.5 应根据湖泊生态问题和损害评估结果，对导致湖泊生态系统退化的胁迫因子进行诊断，可采用专家打分法对胁迫因子的影响程度进行评估，具体诊断分析方法和流程可参考《湖滨带生态修复工程技术指南》、T/CSES 79、GB/T 39791.2 和 GB/T 39792.2。

6 湖泊生态修复总体规划设计

6.1 一般规定

6.1.1 应根据湖泊生态健康评价和胁迫因子诊断结果，结合湖泊功能定位、修复目标和指标，提出针对性修复方案。具体的湖泊生态修复方案宜符合以下规定:

a) 湖泊生态修复应将胁迫压力控制在湖泊生态承载力范围内;

b) 物理生境退化胁迫应恢复被侵占或破坏的生态空间，重点修复关键物种栖息地、重要生态净化空间、生物多样性丰富的区域等;

c) 江湖阻隔的湖泊宜拆除闸坝或适时打开控制闸，或构建可适合鱼类洄游的微阶梯型堤坝，构建鱼类洄游通道;

d) 水资源减少、水体萎缩干化、水文节律失调胁迫宜实施流域节水或补水，优化湖泊水文节律调控; 淤积及湖容减小胁迫宜实施环保疏浚;

e) 富营养化胁迫宜控制入湖氮磷营养物负荷，适当清除污染底泥，实施蓝藻及漂浮植物打捞;

f) 耗氧污染物胁迫应严格控制耗氧性污染物输入，适当清除污染底泥;

g) 渔业资源过度利用胁迫宜控制捕捞规模或定期禁捕，控制养殖规模或禁止养殖;

h) 生物入侵胁迫应清除入侵物种或控制入侵物种规模。

6.1.2 对于健康状况良好的湖泊，重点采取防护措施; 对于轻度、中度退化的湖泊，重点采用修复措施; 对于退化严重的湖泊，重点采取重建措施。

1）其中轻度退化湖泊生态修复宜符合以下规定:

a) 宜采取消减入湖污染、调控渔业模式、清除入侵物种等消除胁迫因子的措施;

b) 宜优先保护湖湾及近岸等关键区和敏感区安全;

c) 宜采取增加植物种子及繁殖体库、增殖放流水生动物、优化动植物群落结构等干扰较小的调控措施;

d) 宜重点恢复本土物种、珍稀特有物种、清水型物种等。

2）中度退化湖泊生态修复宜符合以下规定:

a) 宜在削减入湖污染负荷、禁止过度渔业、清除入侵物种等控制胁迫因子的基

础上，采取生境修复与生物恢复相结合的措施进行修复;

b) 宜将河口、湖滨缓冲区、湖湾、敞水区等关键及敏感区作为生态修复的核心区域;

c）宜重点恢复生态系统本土关键物种的种群规模，同时保护保育珍稀特有种、清水型物种。

3）重度退化湖泊生态修复宜符合以下规定:

a) 在削减入湖污染负荷、禁止过度渔业、清除入侵物种等消除胁迫因子的同时，还宜削减湖内累积性污染负荷;

b) 宜在河口、湖滨、湖湾等有恢复条件的重点区域，采取生境修复、植物恢复、动物区系恢复、群落优化配置等措施进行生态系统修复或重建;

c) 植物群落的恢复宜重点消除或控制对植物生长造成限制的胁迫因子，构建先锋植物群落，并在此基础上分阶段逐步优化植物群落。

d) 动物群落的恢复宜重点恢复关键物种，恢复食物网的重要食物链。

6.1.3 湖泊生态修复区域应选择影响生态健康的关键区域开展，防止过度修复。

6.1.4 湖泊生态修复应开展适应性管理，对生态修复工程的实施过程分阶段进行跟踪监测与效果评价，及时发现实施过程中生态风险及目标偏离情况，并及时调整优化修复方案。

6.1.5 湖泊生态修复应在目标可达性论证基础上进行技术方案设计，宜从功能全面性，经济可行性，技术成熟度等工程设计维度对不同修复措施进行比选，由单项或组合措施形成整体技术方案。

6.2 湖泊生态修复目标

6.2.1 武汉市湖泊生态修复的任务目标可参考如下规定:

a) 小型（＜2 km2，共 125 个）湖泊生态修复目标宜以改善水质，提升水体透明度，预防藻类水华及异味，提升岸带水景观。

b) 中型（2-30 km2，共 33 个）湖泊生态修复目标宜以维系水流畅通，保障生态水位，修复水生生物完整性，恢复湖滨带自然湿地，改善水质，预防藻类水华。

c) 大型（＞30km2，共 8 个）湖泊生态修复目标宜以保护修复湖滨湿地、水

生生物多样性和完整性，特有物种保护，河湖水系连通，水质达到相关规划标准。

6.2.2 考核指标应按不同湖泊特征及修复目标制定，一般应包括湖泊的物理生境、化学生境、水生生物三类指标，每类的具体指标的选择方法和规定可参照 DB42/T 1771 和 T/CSES 79 执行。

6.2.3 考核指标的量化方法可按以下规定执行。

A、与历史数据对比确定。

B、无历史数据的，可参照江汉平原相似湖泊的良好生态状况确定参考值。

C、单项指标评价结果为严重退化、较差或不合格的，可作为生态修复的考核指标。

6.2.4 湖泊生态修复的任务目标和考核指标应进行严格的可达性论证，可采用类似工程技术经验参数，生态模型模拟和专家咨询论证的方法对项目难度进行评估，恢复时间小于 1 年的，可采用基本修复方案，按时进行工程验收和管理；修复时间大于 1 年的，可在基本修复方案的基础上，经由生态修复成效评估论证后，实施补偿性修复方案，整体修复时间跨度可取 3-10 年。

6.2.5 应分析胁迫因子的缓解（或消除）措施及程度能否满足水生植物和水生动物的恢复条件，宜将水生植物，特别是沉水植物恢复的关键胁迫因子作为生态修复可行性的主要判断依据，具体可行性诊断方法见附录 A。诊断结果应明确水生植物恢复的可行性与难度，以及恢复区域面积和分布边界；水生动物恢复的可行性和难点；湖岸带修复的面积和区域边界等。

6.2.6 如遇调查数据和资料缺项，胁迫因素难以确定，以及其他不可控外部环境等情况，宜通过查阅国内外相似案例资料，调研相似工程项目和试点研究等方法确定生态修复工程的技术方案与目标。

6.3 湖泊水生态修复措施

6.3.1 湖泊水生态修复基本修复方案措施应包括污染防治措施、生境修复措施、水生生物恢复措施，补偿性修复方案一般包括水质和透明度提升、蓝藻防治、底泥改善，以及水生植物补种、鱼类调控、入侵物种防控等应急或已有的技术措施。

6.3.2 污染防治措施应符合以下规定:

1）污染防治措施应主要分为点源污染、面源污染和内源污染防治措施，具体方

案应用场景可参考附录 B. 3。

2) 点源污染防治措施宜包含入湖河流污染、入湖排污口污染和异位处理措施。

a) 入湖河流应根据湖泊水环境容量、生态水位需求和河流水资源变化，制定实施流量总量和水质目标双控的入湖河流水质目标管理方案;

b) 入湖排污口应优先采用雨污分流、截污纳管，将污染源截留至周边的城市污水管网，由污水处理厂统一处理，对于发生溢流污染的排污口应参照 DB4201/T 666 进行处理;

c) 对入湖河流水质达标、入湖排污口达标排放，但湖泊水质仍不能满足湖泊功能规划相关要求的，应采用水体异位处理措施，包括小型污水处理设备、生态净化技术等(小型污水处理设备宜采用传统活性污泥法、生物接触氧化法、快速过滤、曝气生物滤池、膜生物反应器或其他污水处理工艺，可参考国家现行标准 GB 28742 和 CJ/T 355 的相关规定; 生态净化技术主要包括生态沟渠、稳定塘和人工湿地等，宜根据湖泊周边建设空间和防洪需要确定，可参考现行行业标准《人工湿地水质净化技术指南》环办水体函〔2021〕173 号 和 CJJ/T 54 的相关规定)。

3） 面源污染防治措施宜包括农业面源和城市面源污染两部分。农业面源污染防治重点应针对源头，包括采用农业施用肥料效益最大化、防止农田水土流失等措施。城市面源污染防治应结合海绵城市低影响开发措施，截留和处理城市雨水径流污染。

a） 在湖泊管理范围内的农业种植区，应尽量减少农药化肥使用量，严格控制污染源流入; 在湖泊管理范围内，应划定畜禽养殖分区和禁养区范围，取缔或搬迁禁养区范围内养殖场;在湖泊管理范围内,有从事畜禽养殖和水产养殖业活动的，应定期收集岸边垃圾，打捞死亡动物和植物，严格禁止乱丢垃圾、损坏植物等破坏环境的活动。

b） 城市雨水收集系统宜分散设置弃流井、池等雨水径流污染弃流设施，其汇水面积、弃流能力等设计参数可参考现行国家标准 GB 50400 的相关规定; 城市湖泊雨水汇集范围内宜采用下凹式绿地,道路广场等设施,以及建设透水铺装地面，主要技术要求应满足现行国家标准 GB 50400 的相关规定; 宜环湖建设湖岸生态缓冲带，具体方法可参考《湖滨带生态修复工程技术指南》和《河湖生态缓冲带

保护修复技术指南》的相关规定。

4）内源污染治理技术宜包括底泥清淤疏浚和底质原位生态修复技术。

a）污染底泥对水质及水生生物造成较大不利影响时，宜进行内源污染治理;

b）底泥污染较重且污染层较厚的底质，可选择环保疏浚措施，底泥的污染评估、疏浚方法、二次污染防治及底泥处置等可参考《湖泊河流环保疏浚工程技术指南》和 DB32/T 3258，方案比选可参考附录 B.1。

c）以恢复水生植物生境为主的疏浚，应重点考虑底质、氧化还原电位、泥面水深、植被定植特性等指标。

d）底质原位生态修复措施适用于污染较轻的湖泊底泥内源治理，包括底泥覆盖、底泥氧化、固化、钝化等物理化学措施，以及微生物制剂等生物措施，使用前应小试确定添加量，按照少量多次的施用原则，尽量减少二次污染。

e）在河口、近岸及排口周边重污染区，宜实施环保疏浚结合原位生态修复的措施进行内源污染治理，在非近岸的局部重污染区域，宜实施曝气增氧、生物菌剂、钝化等原位生态修复措施，改善底质状况；疏浚后湖泊底泥重金属对水生生物有影响的，可采用底泥固化原位修复技术进一步减轻底泥污染；底泥污染较重但污染层较薄的底质可选择适宜的原位生态修复措施。

6.3.3 生境修复措施宜符合以下规定:

1）生境修复措施宜包括水质提升、水文水动力调控、水下光照条件改善、湖滨带修复等措施，具体方案应用场景可参考附录 C.3。

2）水质提升措施包括水体自净强化和旁路净化措施。湖泊水体自净强化措施包括人工曝气增氧、生态浮床、生物接触氧化、生物膜、水系连通、活水循环、化学絮凝、微生物净化、生态沉床等水环境治理技术，旁路净化措施一般为自然生物处理措施，包括人工湿地和稳定塘技术，自然生物处理技术要求可参照 CJJ/T 54 的相关规定，相关技术方案比选方法参见附录 B.1 和 T/CSES 77。具体应用场景规定如下:

a)生态修复后应防范藻类水华、湖泛和冲击性污染造成的水质恶化的不利影响，当湖泊水质不满足生态修复要求时，可采取临时性水质提升措施;

b)临时性水质提升措施可采取环境友好型或影响短暂的物化方法，湖泊水体透明度不满足生态修复要求时，应在控源截污基础上，去除水体中悬浮颗粒物、藻类

等。

c)当生态修复区出现藻华时，可采取拦截、打捞等措施进行水质改善；在湖泛风险区，可采用曝气等措施：存在冲击性污染风险的区城，应采取控源截污措施。

3）湖泊水位受闸坝影响较大或来水水量节律发生较大变化时，宜开展水文水动力调控。

a） 在满足湖滨区域防洪、水系水量调控、调蓄等要求的前提下，宜按照湖滨生态系统构建需要，通过人工引排、水系连通、生态补水等方式进行水位调控。

b） 湖滨生态系统构建需要主要指水位调控宜根据植物生长的物候期变化进行调控，并关注水位变化与底泥再悬浮对透明度的影响，水生植物萌发期宜维持低水位，生长期宜控制水位上涨幅度，成熟期宜尽量保持水位稳定；在水生植物移栽及养护初期，以及每年水生植物复苏期，为满足挺水和浮叶植物根部覆水需求，可以阶段性地适度提升水位，为满足沉水植物生长对水下光照需求，可以阶段性地适度降低水位。

c） 对于生态水量不足、水环境持续得不到改善、自然生态系统遭到严重破坏的湖泊，在进行生态流量核算和生态敏感性分析与论证后，可实施生态补水工程。补水应充分考虑上游水量和水质及流域生态系统需求，通过补水保障湖泊最低生态水位；在水质恶化或发生水华时，宜通过加大补水量、缩短换水周期等方式增加水体流动性。

d） 湖泊生态水位计算可以分为封闭和半封闭型景观湖泊两种计算情形，计算方法可参考现行标准 DB42/T 1740、SL/Z 712 和 SL 709 的有关规定。

4）当湖泊水下光照条件较差时，宜通过絮凝沉降、设置围隔、降低水位及鱼类种群结构调控等措施，为沉水植物生长创造良好的光照条件;在区域内设置生态软围隔，以降低风浪的扰动、控制外源输入的浮游植物，提高水体的透明度;在水下光照不能快速提升的情况下，宜通过降低水位，将水深控制在透明度的 2-3 倍的范围内，使沉水植物群落获得足够的光照;适度控制鱼类生物量，减少杂食性、草食性和底栖鱼类数量，以及控制小龙虾等底栖生物数量，以降低水生动物扰动对水体透明度的影响。

5） 湖盆地貌、岸线形态、底质基质发生较大损伤，并造成原有植被带破坏，或对动物栖息地造成较大不利影响时，宜开展基底修复、护岸、消浪等湖滨带修复

措施，具体方案应用场景可参考附录C.3。

a） 湖滨带修复范围可根据湖泊的实际情况向陆域和水域纵深适当外延，应考虑自然岸带及生态化改造岸带相协调，植物配置应适应湖滨带自然演变规律。

b） 护岸宜根据岸坡坡度、水流特点、岸坡土质、岸坡稳定性和植被定植特征选择护岸方式：宜根据岸线自然形态优选抛石、干砌石、石笼、植被固岸等近自然形式；人工建/构筑物护岸宜选择生态混凝土等环境友好型构/建筑方式，有关技术规定可按SL/T 800、《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》执行，方案比选可参照附录B.2。岸坡修复宜保证岸坡的稳定性、生态性，防止水土流失，湖滨岸坡稳定性评估可按SL/T 793执行。

c） 湖滨带常用的基底修复方法包括生态疏浚、底泥掩蔽、底泥磷固定、垃圾清理及土壤换填等，宜根据调查评估结果，对于含有污染底泥、重金属、有毒有害垃圾等污染物的基底，应进行生态疏浚、改造或修复。湖滨基底修复宜满足生物生长繁殖所需的底质条件，挺水植物恢复区为增强生境多样性，可适当清理污染底泥及腐殖质堆积区，或采取覆盖、部分换土的方法进行土质调整；沉水植物恢复区应根据情况适当清除淤泥，加强植物根系固着能力。具体技术规定可参照《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》执行。

d）根据不同湖滨类型可采用消浪坝、消浪潜坝、消浪丁坝、木桩消浪、围隔消浪、抛石消浪等消浪结构或措施，消浪建设过程应考虑水力条件对水生生态系统的影响。缓坡型（坡度<25°）人工或自然堤岸湖滨适用于消浪坝、消浪潜坝、消浪丁坝、木桩消浪、围隔消浪等；陡坡型（坡度25°-35°）人工或自然堤岸湖滨适用于消浪坝、抛石消浪等；消浪坝、消浪潜坝等可按结构材料、坝高及与水流流向关系等选用透水或不透水、淹没或非淹没等形式；消浪坝、消浪潜坝等标准及级别确定、总体布置、地基处理、稳定计算及安全系数、建筑材料、构造要求可按GB 50286、SL 379、JTS 154执行。

6.3.4 水生生物恢复措施宜符合以下规定：

1）应在外源截污、鱼类调控、水质与底泥改善、消浪和水下光照条件改善后再实施水生生物恢复措施，具体方案应用场景可参考附录C.3。

2）投放的水生生物以土著物种为主，不应投放外来入侵物种，同时采取人工、机械清除、引入本地捕食者等措施控制已有的外来入侵种。

3）应根据恢复初期、中期和后期的生境改善情况，结合物种的生态适应性和耐受范围，适时适量分批引入生物物种，确保在引种初期的成活率，中期的物种匹配度，后期的群落稳定性。

4）水生植物恢复一般宜符合以下规定:

a)宜选用根系发达、抗污能力强、容易管养，具有一定经济价值的物种，推荐水生植物物种可参考附录C.1，宜根据实际情况选择。

b)应由沿岸向湖心断面方向依次配置乔灌草、挺水植物、浮叶植物和沉水植物。

c)植物种植时间应选择植物生长季节,并按照植物的季相交替规律选择种植时机。

d)恢复初期，宜选用耐受范围宽、存活力强、生长快、定植好、生物量大的植物构建先锋植物群落，并采取防鱼措施。

e)恢复中期，应通过填补空白区，优化植物群落的空间与季相匹配，增加植物多样性。

f)恢复后期，应提高湖泊生态系统稳定性，注重湖滨带植物、水生动植物、水位波动、物候更替等因素协调性，以及管理的便利性和水生植物资源可利用性。

g)对中大型湖泊，宜在原位生境条件较好（水深较浅、透明度高、风浪扰动小）水域建立恢复试验区和水生植物种子库。

h)对中大型湖泊，宜将水体生境条件相似的近岸相邻水域（湖湾）整体划片进行水生植物恢复，以增加水生植物恢复初期的集群效应，减少边界效应。

5）挺水植物恢复宜符合以下规定:

a） 挺水植物恢复宜选择观赏性较高、适应性强的物种。

b） 挺水植物恢复宜选择直接种植法和叉子种植法等方式种植，种植密度宜9丛-16丛/m2，2-3株/丛。

c） 挺水植物恢复适用于水深小于0.3m的湖岸带自然壤土水域。

d） 湖岸带挺水植物种植覆盖度宜控制在40%-80%的范围内，必要时可增设围隔、桩木护坡等围挡措施。

6）沉水植物恢复宜符合以下规定:

a） 沉水植物恢复应注重连片整体进行，选择在风浪较小（背风面）水域，避开下风口污染物堆积区和入湖河（排）口污染物堆积区，底泥为软硬适中的黏土，底泥厚度不小于20cm。不同水深区域植物种类配置如下:浅水区(水深≤1.0 m):

苦草、大茨藻、金鱼藻；中等水深区（0.5 m≤水深≤1.5 m）：苦草、金鱼藻、狐尾藻、马来眼子菜、轮叶黑藻、微齿眼子菜、菹草；深水区（1.0 m≤水深≤2.5 m）：微齿眼子菜、马来眼子菜、苦草。

b） 沉水植物恢复区的环境边界条件见附录 A.1 规定。

c） 沉水植物恢复宜选择 5 种以上的土著优势物种。

d） 沉水植物恢复初期应采取围隔、围网等围挡措施，宜选择播种法、配重抛掷法、容器种植法和叉子种植法等方式种植，种植密度宜 16 丛-36 丛/m2，3-5 株/丛。

e） 浅水区沉水植物种植覆盖度宜在 70% 以上，水深小于 3.0m 的敞水区沉水植物种植覆盖度宜在 50%-80%的范围。

7）浮叶植物恢复宜符合以下规定：

a） 浮叶植物恢复适宜底泥为软硬适中的黏土，底泥厚度不小于 20 cm。

b） 浮叶植物宜选择成苗扦插法、配重抛掷法和容器种植法等方式种植，种植密度宜 4 丛-9 丛/m2，2-3 株/丛。

c） 浮叶植物盖度宜控制在 40%-60%的范围。

8）水生动物群落调控一般应符合以下规定：

a） 水生动物调控主要针对底栖动物和鱼类两大类群，应在控制捕捞方式和强度基础上实施。

b） 可通过增殖放流提升鱼类和底栖动物的种群密度，优化群落结构。前期宜选择滤食性鱼类和耐污底栖螺贝类，后续适时引入其他鱼类；在增殖放流后，宜进行跟踪监测与生态调控效果评估。

c） 增殖放流应控制种质资源质量、选择适宜的运输和投放季节，并防控病害传播；水生动物投放应避免水体缺氧和有毒有害物质水域，投放种类和数量可参照 SC/T 1149 和附录 C.2。

d） 应保护鱼类及底栖动物栖息地的联通性和完整性，重点保护、修复关键幼种栖息地；应建立特有、珍稀鱼类及底栖动物种质资源保护地或保护设施。

9）底栖动物恢复宜符合以下规定：

a） 底栖动物恢复宜在有附着基底、生态护岸或水生植物分布的水域。

b） 底栖动物恢复应以大型底栖无脊椎动物为主，重点是软体动物中的腹足类和

双壳类。

c) 底栖动物投放前，应明确投放区的底栖动物本底数量，如无相关数据，则应对恢复区进行至少 1 个周年（夏冬 2 次）底栖动物调查获取相关数据。

d) 宜在软体动物生长繁殖期之前的 1-2 个月投放。

e) 投放结束后，定期巡查所投放生物的生存状况，及时捞取死亡动物残体。

10）鱼类调控宜符合以下规定:

a) 鱼类投放前，应明确对应湖泊鱼类的本底数量，如无相关研究数据，应对恢复区进行至少 4 个连续季度的鱼类群落结构调查，掌握优势鱼类的生物量、相对丰度及大小组成。

b) 根据湖泊生态修复区现有鱼类群落结构特征，应选择性捕捞底层杂食性、草食性鱼类，前期投放滤食性鱼类，后续适时合理引入食鱼性鱼类和其他鱼类，投放时间宜选择在秋末或初春季节。

c) 鱼类投放结束后，应定期监测鱼类群落结构，及时调控不同食性鱼类的比例，以维持较高的肉食性鱼类和浮游生物食性鱼类的比例和生物量。

7 湖泊生态修复工程实施与监管

7.1 工程实施

7.1.1 应根据湖泊的水生态环境现状与施工条件，按照安全优先、长效稳定、经济高效、便于维护管理等原则，因地制宜制定湖泊生态修复工程实施方案。

7.1.2 工程实施方案应包括施工组织设计、生态修复技术要点、施工程序、工程质量检验及验收，竣工资料等，生态修复技术要点应包含污染源防治措施，生境修复措施和水生生物恢复措施。具体工程施工办法和实施要点可参考 DBJ/T 15-183、CJJ 82、DB32/T 3258 和 SC/T 9401、DB41/T 2110 的规定，并符合 SL/T 800 的规定。

7.1.3 特殊情况需进行实施方案调整的，应开展方案论证与流程审批，报相关管理部门备案，必要时应优先实施方案设计中的示范或试验工程，加强现场观测和信息反馈，积累数据资料，总结工程实施经验后优化设计与施工方案。

7.1.4 在大中型湖泊，应针对河口区、湖滨缓冲区、湖湾区和敞水区的地形地貌、水文、底质差异，分区实施生态修复工程，并按照先流域后湖区、先河口区与湖滨缓冲区后湖湾区与敞水区的次序分批实施，各分区生态修复要求和典型修复模式参见 T/CSES 79 的规定。

7.1.5 应根据湖泊的生态退化程度和特点，合理选择实施一项或多项关联的修复措施，应先实施污染防治措施，先外源后内源，然后实施水质提升等生境修复措施，最后实施水生生物恢复措施。

7.1.6 工程施工应尽量避免对生态环境造成影响，难以避免的应采取措施防范或减轻影响。

7.2 工程监理

7.2.1 工程监理应包括项目监理机构及其设施概况，监理规划及监理实施细则，工程质量、费用、进度控制及安全生产管理和文明施工管理，施工合同管理，信息管理等内容，可参考 DB41/T 1993 的相关规定;

7.2.2 工程建设内容属于市政基础设施工程的，工程监理还应符合 DB4201/T 653

的相关规定。

7.2.3 工程监理应符合水利（水务），生态环保，城建（住建）等行政管理部门监督保障的要求。

7.3 工程验收

7.3.1 工程验收的程序应依次通过过程检查验收、子项目竣工验收、整体验收，各级验收工作应独立进行，不应省略或代替。

7.3.2 验收的组织、条件与依据、内容与要求、方法与结论，各个生态修复单元或分项措施的评估、工程整体验收评估，工程档案管理等内容可参照 TD/T 1069 和《山水林田湖草生态保护修复工程验收规程》的规定执行。

7.3.3 应在分部、单元、合同工程验收及相关阶段验收工作完成后，进行生态修复效果专项验收，然后再进行工程竣工验收。生态修复效果专项验收应组织具有合法资质和专业经验的专家学者团队作为第三方人员或单位进行一次全面的湖泊生态系统健康调查与评估，其调查结论应作为验收的主要依据之一，评估相关的指标体系和方法可参考 DB42/T 1771 和章节 5.1、5.2 执行。工程竣工验收应经过科学的成效评估流程，成效评估内容应包括生态效益和社会效益两方面，具体的评估流程、指标体系、方法和内容可参照第 9 章成效评估的相关内容。

7.3.4 宜鼓励和推动新技术、新方法、新材料、新工艺在湖泊生态修复工程中的研发和成果转化应用。

8 湖泊生态修复工程运维与管理

8.1 一般规定

8.1.1 工程设计阶段应测算工程后续维护和管理所需经费、设备、人员，明确工程建成后的管理机制。

8.1.2 应制定湖泊生态修复工程全生命周期的运维管理方案，在对修复工程区进行跟踪监测与评估的基础上，建立健全湖泊维护管理机制，明确责任主体及具体职能部门的主要职责，实行包括操作规程、人员培训、日常和工程设施的维护管理，安全防护要求、人为活动管理等管理规章制度，以及按照《突发事件应急预案管理办法》的规定建立事故应急预案，相关规定可参照 DBJ/T 15-183、T/CWDC 24 和 T/CSDS 32 执行。

8.1.3 宜将运维和管理时间跨度先后划分为工程养护期和运行维护期，工程养护期宜设为 1 年及以上，不低于主要植物、动物的一个生长、发育和繁殖期；运行维护期宜减少养护措施，以生物自然恢复为主，时间跨度宜设为 3 年及以上。

8.1.4 应按照季相变化、汛期与常水位期的水位波动节律每年进行至少 2 次的湖泊生境和水生生物恢复状况的跟踪监测。具体项目参见 5.1.4 专项调查中的监测内容。,

8.1.5 应在工程竣工后和湖泊生态系统逐渐稳定并发挥效果后开展工程成效评估，评估工程的生态恢复效果、经济价值、社会效益等，具体流程和方法参见第 9 章成效评估章节。

8.1.6 鼓励有条件的地区加强各类设施数据库的建立与信息技术的应用，建立基于模型模拟和大数据的动态运行维护机制，构建可溯源的运行维护过程数字化档案管理系统。

8.2 运行维护措施

8.2.1 常规运维管理措施应包括以下方面:

1）定期清理湖泊生态缓冲带和水面中的垃圾、水生植物残体和死亡鱼类等漂浮物。

2）定期巡查并防止居民对湖滨植物采收等人为损坏的活动，禁止工程区内的垂钓、养殖和放牧活动。

3)定期检查和维护工程区曝气增氧、水质净化、补水活水等设备设施、护岸(坡）建（构）筑物等工程设施，保障各项设施的正常运行。

8.2.2 工程措施运行维护应包括以下方面:

1）异位处理措施的运行维护主要包括小型污水处理设备和生态净化工程。

a) 生态净化工程主要指前置库工程和入湖河口人工湿地工程，具体运维技术规定可参考 T/CSES 27 和 T/CSES 32。

b) 小型污水处理设备除应定期检查和维护外，发现功能出现障碍或有损坏时，应及时进行维修和保养,发现严重问题时要及时报告相关管理部门并采取必要的管护措施。

2)湖滨带生态修复工程运行维护主要包括植物群落维护与管理、水生动物维护、基底边坡维护，具体运行运维技术和规定可参考 T/CSES 32、DB37/T 4332、《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》。

3)生物群落维护包括水生植物维护和水生动物维护,应包括以下方面: DT/CSES

a) 水生植物维护应包括植物补种、收割、优化群落配置、预防虫害和清除外来入侵植物等;

b) 水生动物维护包括生态捕捞、鱼苗放流、水体增氧、死鱼打捞、外来入侵动物清除等,宜根据跟踪监测与评价中的生态风险评估结果进行食物网调控;

c) 食物网调控应重点调控不同营养级之间的平衡以及重要食物链上生物之间的捕食关系平衡，促进生态系统良性循环。当湖泊水华主要由蓝藻造成时，可采用非经典生物操纵措施，投放一定比例的滤食性鱼类;对绿藻、硅藻等群体较小藻类占优势的湖泊，可采用经典生物操纵措施，通过放养凶猛鱼类、捕捞食浮游动物鱼类、控制滤食性鱼类等方式提升浮游动物生物量;实施有水生植物恢复的湖泊宜控制草食性鱼类对水草的牧食压力。

d) 其他具体运行运维技术和规定可参考 T/CWDC 24、DBJ/T 15-183、T/CSDS 32、DB37/T 4332。

8.3 突发场景运行维护

8.3.1 湖泊生态修复工程应制定应急预案，配备相应的应急物资，并定期进行应急演练。生态修复过程及工程运行过程中出现设施损环、突发污染等应及时启动应急预案，保障工程安全。

8.3.2 针对湖湾和排口水质局部恶化、溶氧偏低，特殊天气下的生态水位不足、雨季溢流污染等不同运维场景，应通过水质提升、异位处理、补水活水及水体循环设施等措施强化湖泊水质净化能力，保障水质稳定，具体场景和措施可参考DBJ/T 15-183。

8.3.3 藻类水华控制应包括水华预警监测，长效控制和应急控制措施，宜符合以下规定:

a) 应加强蓝藻水华预警监测，主要监测项目应包括水温、浊度、pH、溶解氧、藻类数量、藻类密度、叶绿素、总氮、总磷等。

b) 长效控制宜消除营养盐负荷；定期监测水体中鱼类总体生物量，并控制在合适比例,可参照 8.2.2 章节中的食物网调控的规定。

c) 应本着对环境友好、生态安全的原则，根据藻华发生规模、藻华的动态预测、藻华生物是否有毒以及可能的危害程度制定应急处理方案，科学选取物理、化学和生物等措施,水华应急控制技术的选择和要求可参考 T/CSES 78 和 DB5301/T 56 的相关规定。宜在水生植物分布区、饮用水源地、对居民及景观有重要影响的区域实施。

d) 藻类爆发时对死亡水生动物和藻类应进行及时打捞，以避免二次污染。

9 湖泊生态修复成效评估

9.1 评估原则

9.1.1 评估内容与指标应以生态效益为核心，兼顾社会和经济效益；以提升生态系统质量和稳定性为目标，客观反映工程实施的综合成效，确保评估结果科学、真实、准确。

9.1.2 参与评估的工作人员必须具备相应的专业背景和专业资质，能理解和运用本规程的工作内容和流程。

9.1.3 应根据工程的生态问题识别诊断结果以及修复总体目标和任务，针对性的提出评估内容和指标;

9.1.4 宜通过定量和定性相结合的方式开展评估，结合实际明确评估标准，确保评估数据可获取、结果可量化，易于操作。

9.1.5 工程实施周期内的评估结果要与成效评价、工程运维管理相衔接，工程验收后的评估要为武汉市水生态保护修复相关规划和工程布局服务。

9.1.6 应遵循山水林田湖草生命共同体的理念，评估湖泊湖心、湖滨带和岸带的工程布局、修复单元、技术措施、建设内容和时序安排的整体性、系统性和协同性。

9.2 评估步骤与要求

9.2.1 应首先确定评估方案与内容，宜符合以下规定

1）湖泊生态修复工程成效评估宜分为验收评估、后效评估两部分内容。验收评估应在施工结束后开展，评估内容宜参照 TD/T 1069，主要内容为生态修复工程的生态效益和技术创新性；后效评估应在工程验收 1 年后开展，之后每 2-5 年可根据实际需要开展，评估内容应以生态效益为主，兼顾社会、经济效益。评估流程技术路线如图 2 所示。

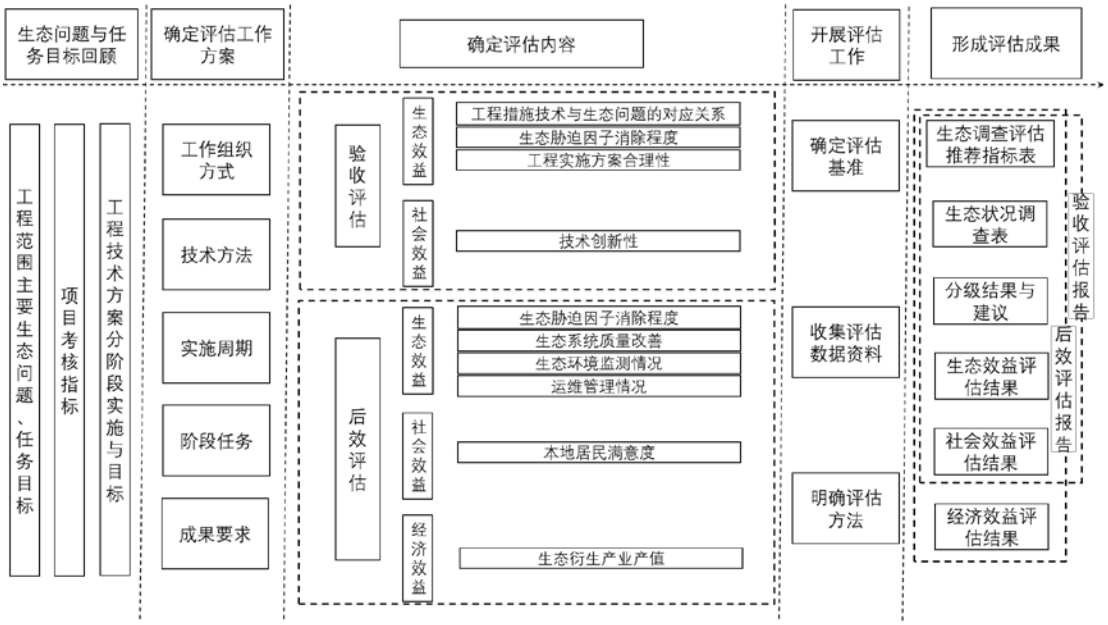

图 2 湖泊生态修复成效评估技术路线图

2）应制定工作方案，明确工作组织方式、技术方法、实施周期、阶段任务、成果要求等，并依据工程实施方案，梳理工程范围、各修复单元、各子项目的主要生态问题和目标任务，在子项目（污染源防治、生境修复和水生生物恢复措施）、修复单元（湖湾、敞水区、湖滨带和岸带）及工程范围（湖泊流域）三个尺度开展评估工作。

3）应明确评估内容和指标，评估内容应主要围绕生态效益，兼顾社会和经济效益。生态效益应包括生态胁迫因子消除程度、生态系统质量改善、生态系统服务提升。在子项目尺度还需关注工程措施技术与子项目生态问题的对应关系；修复单元尺度还需评估子项目关联性和时序安排的合理性。其他成效评估内容应符合 TD/T 1068、TD/T 1069 的相关规定。

9.2.2 开展评估工作的流程应符合以下规定:

1）首先应确定评估基准，宜将评估指标在工程设计前的调查评估状态作为评估基准。

2）收集评估所需的数据资料，应包括:

a)项目实施全周期工程范围、修复单元、子项目的生态环境背景条件和生态环境问题的有关资料;

b)通过前期调查与资料收集获取的工程数据资料，包括水文水资源、水环境、生物与生境调查数据，工程实施方案，项目规划设计和工程设计报告，成效评价报

告，验收成果等。

c)工程运维管理数据资料，包括基础设施运维资料、跟踪管护资料、监测评估开展与监测能力建设资料、监测台账、生态评估资料、人为干扰防控相关资料等。

3）明确评估方法，宜采用定性和定量相结合的方式，可选取专家打分、模型测算、层次分析等方法。

4）形成评估结果，应根据评估指标和评估方法，分析生态修复成效，形成评估报告、附图、附表及附件。

9.3 评估内容与指标

9.3.1 评价内容应符合下列规定:

1）在子项目尺度应评价工程措施与子项目生态问题的对应关系。

2）在修复单元尺度应评价生态胁迫因子消除程度、生态系统质量改善、工程实施方案合理性等 4 方面内容。

3）在工程范围尺度应评价生态系统服务提升的社会与经济效益，以及生态环境跟踪监测情况和后期运维管理情况等生态效益相关内容。

9.3.2 评估指标体系宜参考如下规定:

1）评估指标包括共性指标和个性指标，具体指标解释参见附录 D。

a) 共性指标应按附录 D、《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》和《城市水生态修复工程成效评估规程》中的要求进行测算。

b) 个性指标应按附录 D、《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》要求，根据子项目、修复单元或工程范围的具体生态问题类型及其严重程度、修复目标任务、实际采取的保护修复措施等，针对性地设计并测算。

2）根据评估方案与内容宜分为工程验收评估指标体系和工程后效评估指标体系，可分别参照表 5 和表 6 执行。

表 5 工程验收评估指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	评估方法	指标类型
生态效益	工程措施技术与生	污染源防治措施与点/面源污染问题的对应关系	专家打分	共性指标,必选

	态问题的对应关系	生境修复措施与湖泊生态问题的对应关系		专家打分	共性指标,必选
		水生生物恢复措施与湖泊生态问题的对应关系		专家打分	共性指标,必选
	生态胁迫因子消除程度	水质污染消除与改善程度	溶解氧	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			综合营养状态指数 TLI	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			总磷	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			氨氮	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			高锰酸盐指数	监测观测，统计计算	共性指标,必选
		生境修复程度	透明度	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			沉积物总氮指数	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			沉积物总磷指数	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			沉积物有机质指数	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			沉积物基底适应性改善程度	监测观测，统计计算	个性指标,可选
			有害水生动物消除程度	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			水文情势改善程度（消浪、水位调控、水动力循环）	监测观测，统计计算	个性指标,可选
			湖泊联通指数	监测观测，统	个性指

				计计算	标，可选
	生态系统质量改善	植物覆盖度变化量	大型水生植物覆盖度	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
		生物量变化量	浮游植物密度	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
			叶绿素 a	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
			沉水植物生物量变化情况	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
		物种丰富度变化	浮游动物多样性指数	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
			底栖动物 BI 指数	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
			沉水植物丰富度	水生生物调查，统计计算	共性指标，必选
	工程实施方案合理性	子项目关联性		专家打分	共性指标，必选
		时序安排合理性		专家打分	共性指标，必选
社会效益	技术创新性	技术研发与成果转化		专家打分	个性指标，可选

表 6 工程后效评估指标体系

一级指标	二级指标	三级指标		评估方法	指标类型
生态效益	生态胁迫因子消除程度	水质长效保障程度	溶解氧	监测观测，统计计算	共性指标，必选
			综合营养状态指数	监测观测，统	共性指

			TLI	计计算	标,必选
			总磷	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			氨氮	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			高锰酸盐指数	监测观测，统计计算	共性指标,必选
		生境修复程度	透明度	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			有害水生动物消除	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			生态水位满足程度	监测观测，统计计算	共性指标,必选
			湖泊联通指数	监测观测，统计计算	个性指标,可选
	生态系统质量改善	植物覆盖度变化量	大型水生植物覆盖度	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
		生物量变化量	浮游植物密度	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
			叶绿素 a	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
			沉水植物生物量变化情况	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
		物种丰富度变化	浮游动物多样性指数	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
			底栖动物 BI 指数	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选
			沉水植物丰富度	水生生物调查，统计计算	共性指标,必选

	生态环境监测情况	监测点布设合理性	专家打分	共性指标,必选
		监测指标科学性	专家打分	共性指标,必选
		监测数据完整性	专家打分	共性指标,必选
	运维管理情况	管护机制建立情况	专家打分	共性指标,必选
		管护措施落实情况	专家打分	共性指标,必选
		适应性管理	专家打分	共性指标,必选
社会效益	本地居民满意度	感官体验满意度	现场调查与访谈、统计计算	共性指标,必选
经济效益	生态衍生产业产值	-	现场调查与访谈、统计计算	个性指标,可选

9.3.3 评估计算方法包括评估指标计算方法及数据来源和评估结果计算方法，可参考《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》和《城市水生态修复工程成效评估规程》的规定。

9.4 评估结果与报告

9.4.1 宜根据评估结果分别编制验收评估报告和后效评估报告，验收评估报告应总结生态效益和社会效益评估结果，子项目、修复单元和工程验收评估结果；后效评估报告应总结生态、社会和经济效益评估结果，以及子项目、修复单元和工程范围评估结果。

9.4.2 报告提纲模板可参照《生态保护修复工程实施生态环境成效评估技术指南》，主要内容包括总则、工程实施基本情况、工程实施生态环境成效评估、主要问题、相关建议等。报告应汇总生态状况调查表、生态调查监测评估推荐指标表等，表格模板可参照《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》。

附录 A 湖泊水生生物恢复措施可行性诊断方法要点

A.1 水生植物恢复诊断

A.1.1 水生植物恢复的关键胁迫因子包括水下光照条件、沉积物条件、水文情势、水生动物扰动和水体营养盐等。这些因素对水生植物修复的综合影响程度，可依据经验数值、单因素（或多因素）实验、以及典型工程区原位中试等方法进行综合评价。

A.1.1.1 水体营养盐

开展湖泊生态修复一般宜将湖泊水体营养盐浓度控制在 TP≤0.1mg/L，TN≤2mg/L 的范围。

A.1.1.2 水下光照

沉水植物修复的可行性应根据其光补偿深度(即水下呼吸速率与光合速率平衡的深度）判断，光补偿深度一般不超过透明度的 2.5 倍；或者湖泊底部光照强度高于水面光强的 1 %－3 %可满足沉水植物正常生长。

A.1.1.3 沉积物

表层沉积物厚度不小于 20cm。沉积物质地宜以松软为主，容重在 1.3-1.7g/cm3 的范围，含水率介于 30%-70%，有机质小于 20%，且不应有超标的重金属、硫化物等有毒有害物质。

A.1.1.4 水文情势

结合水位波动和水下地形情况，挺水植物恢复适宜水深 0m-0.5m，一般在湖泊水位变幅区或浅水处；浮叶植物恢复适宜水深 0.5 m-1.5 m，宜在湖泊静水或缓流水域；沉水植物恢复适宜水深 0.5m-2.5 m，宜在湖泊静水或缓流水域，但不适宜在水底光照不足、风浪扰动大、急流、烂泥或缺氧水域配置。

A.1.1.5 水生动物

在沉水植物恢复过程中应控制食草性的鱼类（草鱼和鳊鱼等）和螺类（如萝卜螺和福寿螺）对水草的牧食，控制小龙虾和螃蟹对植物的破坏，控制底栖和杂食性鱼类（鲤鱼、鲫鱼、黄颡鱼等）对底泥的扰动作用。

A.1.1.6 其他因素

水生植物修复的其他影响因素包括水温、pH/碱度、旱涝极端气候、有毒有

害物质等环境因素和人类活动影响。依据物候条件，一般沉水植物（不包括耐寒生长的种类，如菹草和伊乐藻）的种子、冬芽、石芽、匍匐茎、根状茎、鳞茎、块茎和断枝等萌发复苏的适宜水温范围为 10-30℃，植物生长的适宜水温范围为 15-30℃；沉水植物生长适宜的 pH/碱度为中性，弱酸性或弱碱性；旱情会引起水生植物群落萎缩与面积衰退，内涝则会引起水生植物烂根死亡；藻毒素、硫化物和重金属等有毒物质对水生植物造成生理胁迫，对生长不利。航运、供水、排污等活动会造成植物物理损伤，影响水生植物修复。

A.2 水生动物恢复诊断

A.2.1 水生动物恢复的主要影响因素包括湖泊生态系统类型、非生物环境因子、关键胁迫因子、总体生物量控制、物种生态位与适应性和其他因素。

A.2.1.1 湖泊生态系统类型

应根据湖泊类型和水体营养状态对鱼类和底栖动物恢复的可行性进行诊断，不同湖泊营养状态评价方法和参数可参考 SC/T 1101。

A.2.1.2 非生物环境因子

应根据湖泊的形态参数、底质、湖区径流与水位、水质条件对鱼类和底栖动物恢复的可行性进行适应性诊断，相关技术要求可参照 SC/T 1101。

A.2.1.3 关键胁迫因子

鱼类和底栖动物恢复的关键胁迫因子可重点关注水体的水温、pH 值、溶解氧、氨氮、亚硝酸盐、硫化物和叶绿素 a 等指标，不应出现突发性工业废水、石油类、重金属和农药污染。具体监测指标可参考 GB 11607、SC/T 9102.3 和 DB 37/T 3604。

A.2.1.4 总体生物量控制

鱼类和底栖动物恢复的本底数量和拟投放量不应超过湖泊天然饵料支撑的渔潜力和生态容量，相关技术参数可参照 SC/T 1101。

A.2.1.5 物种生态位与适应性

应综合运用水体中藻类、水生植物、底栖动物、鱼类、微生物多营养级耦联关系，根据投放物种的食性、栖息地需求、苗种成活率和引种实际成效进行综合评估诊断，可参考 DB37/T 4332。

A.2.1.6 其他因素

调查结果如有恶性外来入侵动物，如鳄雀鳝、加州黑鲈、小龙虾、福寿螺、罗非鱼等，应评估其环境风险和生态危害，然后采取有效措施控制后再进行水生动物引种修复；应取缔非法垂钓和捕捞活动，对已有渔场管理下的湖泊应协商收回水域经营管理权或进行生态养殖渔业调整后再进行水生动物恢复。

附录 B 常用河湖生态修复工程技术适用条件与技术性能表

B.1 常用河湖水体生态修复技术适用条件与技术性能表

表 B.1 常用河湖水体生态修复技术适用条件与技术性能表

技术名称	技术简介	目标污染物	适用性	经济可行性	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
曝气增氧技术	人工向水体中充入空气或氧气，加速水体复氧过程，提高溶氧水平，恢复和增强好氧微生物的活力，促进有机污染物的降解速度，改善受污染水体的水质。	有机污染物	适用于严重有机污染和整治后城市水体的水质保持，对消除水质黑臭、抑制藻类的生长繁殖有良好的效果。	设备简单、机动灵活、安全可靠、见效快、操作便利、适应性广，但河湖曝气增氧-复氧成本较大	该技术在国外应用已经非常成熟。国内主要在小型河湖治理中使用，尚未在大规模河湖综合治理中应用	非常适合于城市景观河湖和微污染源水的治理	对水生态不产生二次污染和破坏

生态浮床技术	运用无土栽培的原理，利用可漂浮材料为基质在水面种植植物，消减水体中的污染物质的技术。	总磷、氨氮、有机物等	适用于富营养化和受有机污染的水体，尤其适用于水位波动较大、难以恢复岸边水生带的水体。	技术工程量小，投资成本低，便于维护，但运营成本高	技术相对成熟，国内有一定的应用案例，能够改善景观、保护河岸。	技术可靠，处理效果好，但受植物的季节性影响严重	不会造成二次污染，部分植物有造成生物入侵的风险
引水冲污/换水稀释技术	通过加强沉积物-水体界面物质交换，缩短污染物滞留时间，从而降低污染物浓度指标，死水区、非主流区重污染湖水得到置换，改善河湖水质	无机和有机污染物	适用于水资源丰富的地区。通常作为应急措施或者辅助方法	需要耗费大量优质水资源。引水工程量较大，费用较高	在国内外河湖富营养化治理中有所应用，对于污染严重且流动缓慢的河湖也可考虑采用	技术可靠	没有从根本上去除污染物， 增加了河湖的水体，对下游会造成 一定的冲击，污染物随着水流进入下游，将影响下游的水质和负荷

底泥疏浚技术	去除底泥所含的污染物，消除污染水体的内源，减少底泥污染物向水体的稀释	氮、磷、重金属、有毒有害有机物	实施的基础和前提条件是河湖和河湖外源必须得到有效控制和治理， 否则无法保证疏浚效果的持续，也就无法达到改善水质与水生态的目的；疏浚的重要原则之一是局部区域重点疏浚，优先在底泥污染重、释放量大的河段与湖区开展底泥疏浚；需与生态重建有机结合才能达到良好的效果	工程量大、成本高	成熟度高， 在国内外已经得到广泛的工程应用	技术可靠	疏浚过深将破坏原有生态系统；对于清除的底泥要进行后续处理，处理不当易引起二次污染

化学絮凝技术	通过投加化学药剂去除水中污染物以达到改善水质的目的	磷、重金属等	适用于突发水环境事件临时应急措	工程量大、成本高	成熟度较高，国内多次应用在突发环境事件应急 处置中，如镉污染、锑污染等	技术可靠、快速高效	处理效果易受水体环境变化的影响， 且必须顾及化学药剂对水生生物的毒性及对生 态系统的二次污染，应用具有很大的局限性

生物膜技术	结合河湖污染特点及土著微生物类型和生长特点，培养适宜的条件使微生物固定生长或附着生长在固体填料载体的表面，生成胶质相连的生物膜。通过水的流动和空气的搅动，生物膜表面不断和水接触，污水中的有机污染物和溶解氧为生物膜所吸收从而使生物膜上的微生物生长壮大	溶解性的和胶体状的有机污染物	微生物群体通过摄取有机物，在一定范围内繁殖并培养出菌群，能持续去除水中污染物。生物膜法的适应能力很强，可根据水质、水文、水量的变化发生变化，消化能力与处理能力较好。	投资运营费用较大，实施时需要大量的投资，及一定的管理技术和经费。	用于河湖净化的生物膜技术在国外研究较多，尤其是日本，已在工程实践中运用多种生物膜技术对污染严重的中小河湖进行净化。	能有效去除污染水体中的氨氮和有机物，可以大大改善水质。	该技术未改变地表水体原有的生态系统，不会造成二次污染和破坏。

人工湿地技术	湿地修建在河湖周边，利用地势高低或机械动力将部分湖水引入到种植有水生植物的人工湿地、氧化塘或生态塘中，污水在沿一定方向流动过程中，经过水生植物、微生物和土壤的作用净化后回到原水体	氮、磷、重金属等污染物	污水处理系统的组合具有多样性和针对性，减少或减缓外界因素对处理效果的影响；可以和城市景观建设紧密结合，起到美化环境的作用。受气候条件限制较大；设计、运行参数不精确；占地面积较大， 容易产生淤积、饱和现象对恶劣气候条件防御能力弱；净化能力受作物生长成熟程度的影响大	投资费用低，建设、运行成本低，处理过程能耗低	该技术已经非常成熟，在国内外有广泛的工程应用	污水处理效果稳定、可靠	位置选择不当或处理能力不满足实际需求时，会污染周围土壤和地下水。

微生物直投法净化技术	利用微生物唤醒或激活河湖、污水中原本存在的可以净化水体但被抑制不能发挥功效的微 生物，从而降解水体中的污染物。	氮、磷、重金属等污染物	当河湖污染严重而又缺乏有效微生物作用时， 投加微生物能有效促进有机污染物降解。适合湖库水体在藻类大量爆 发前使用，可弥补微生物制剂见效时间较长的缺点	工程量小，投资成本高	技术相对成熟， 国内外有一定应用	受限于微生物适应性和水体特点，修复效果不一	所投加的微生物若含病原菌等有害微生物，会破坏水体原生生态系统
水生植物栽植修复技术	利用水生植物吸收、微生物代谢及植物根部环境的吸附、过滤、沉淀等作用对水质进行净化	氮、磷、重金属等污染物	富营养化水体或者某些重金属污染的水体	成本较低	技术成熟， 国内外有大量应用	治理效果较好，但无法应对重度污染的水体	对环境无二次污染

B.2 常用湖滨带恢复技术适用条件与技术性能表

表 B.2 常用湖滨带恢复技术适用条件与技术性能表

技术名称	技术简介	适用性	优缺点
水陆交错带湿地截污净化技术	由人工基质和生长在上面的水生植物组成，利用基质填料、微生物、植物和水生动物之间的协同作用，通过一系列物理、化学、生物作用达到净化水体的目的	可用于削减面源污染,处理水体中的重金属、农药和富营养化的污染。	便于维护，处理效果好，且不会造成二次污染；但净化效能受湿地水流流态、水力负荷、种植植物类型和数量、温度、pH、填充介质类型、运行方式等因素的影响
人工种草边坡绿化技术	人工在边坡坡面上简单播撒草种的一种传统边坡植物防护措施	适合高度不高、坡度较缓的水体护坡的恢复。	施工简单，造价低；但边坡防护效果不佳，容易造成边坡病害。

铺草皮边坡绿化技术	人工在边坡坡面上铺设天然草皮的一种传统边坡植物防护措施	适合坡度小于 45°，局部不陡于 53° 的水体护坡的恢复	施工简单，工程造价低，成坪时间短，施工季节限制少；但管理困难，易受自然灾害，容易造成边坡病害。
活枝护岸技术	沿河湖岸坡脚线打一排木桩或混凝土仿木桩，将有生命力植物的根、茎(枝)或整体扎成活枝捆，将活枝捆按与河岸平行的方式放于木桩或混凝土仿木桩与河湖岸坡之间的一种护坡技术	适用于坡度比较平缓的水体护坡的生态恢复	施工简单，可有效稳定边坡，减小河岸侵蚀，改善水生动植物的栖息地环境，并能增强景观效果

植物纤维毯边坡绿化技术	铺设用椰纤维或稻、麦秸秆等植物纤维为基底，混同优质草籽、营养剂、专用纸、定型网等多种材料，通过先进设备一次性制造而成的生态护坡材料	广泛应用于河渠护岸与绿化	节能环保，保墒效果好，施工速度快，经济性好
抛石边坡绿化技术	以碎石堆砌形成具有缝隙的护坡，并可以结合植被等措施，在抛石缝隙间形成野生植被的一种护坡技术	适合于能够就地取材的、不小于 1:1.5 的自然边坡，多在长江流域使用	可就地取材，施工简单，能够减少水流冲刷，便于修补，可塑性强
石笼边坡绿化技术	术在由高镀锌钢丝或热镀铝锌合金钢丝编织而成的箱笼内填充石料等不风化的填充物，并结合植被措施而形成的生态护坡技术。	适用于河湖、岸坡的护坡，尤其适用于碎石来源广泛而缺少大块石头的地区与流速大的河湖断面	具有很好的柔韧性、透水性、耐久性以及防浪能力，而且具有较好的生态性；但网格金属易被腐蚀，网格易老化、易被破坏，存在安全隐患。

三维植物网边坡绿化技术	利用活性植物并结合土工合成材料等工程材料，在坡面构建一个具有自身生长能力的防护系统，通过植物的生长对边坡进行加固的边坡技术	适用于各种类型的河湖护坡的恢复，但坡度大于 45° 时慎用	固土性能良好，消能作用明显，网络加筋突出，保温功能良好；但材料老化后，在土壤里容易形成二次污染。
土木格式植草边坡绿化技术	在展开并固定在坡面上的土工格室内填充改良客土，然后在格室上挂三维植被网，进行喷播施工的边坡技术	适合坡度小于 45° 的水体护坡的恢复	伸缩自如，运输体积小，联接方便，施工速度快，材质轻，耐磨损，化学性能稳定
植生袋边坡绿化技术	将植物种子夹在多层无纺土工织物或天然纤维垫中，直接密贴在边坡表面进行快速绿化的边坡技术	主要应用于水流冲击较大的河湖，结构稳定性	保水固土，出苗率高，出苗齐整，施工简单，灵活性强，但对铺设施工要求高，应用范围窄，适应性差。

植被混凝土边坡绿化技术	采用特定的混凝土配方和种子配方，对岩石边坡进行防护和绿化的技术	用于各类水体护坡的恢复，尤其适用于作为堤防护坡	具有较好的抗冲刷性和稳定性，降低了施工的难度，解决了岩石边坡的浅层防护问题；但施工成本过高，无法为大型植物提供生长空间
多孔质结构护坡技术	主要有用混凝土预制件构成的各种带有孔状的适合动植物生存的护岸结构（如不规则鱼巢结构、盒式结构、自然石连接等）形成生态护岸	广泛应用于多种类型水体护坡的恢复	施工方便，抗冲刷，为动植物生长提供了有利条件
浆砌片石骨架植草边坡绿化技术	采用浆砌片石在坡面形成骨架，并结合撒草种、铺草皮、土工网、喷播植草、栽植苗木等方法形成的边坡技术	适用于易发生溜坍及坡面冲刷较严重的河湖和水利工程大坝的护坡恢复	减少坡面冲刷，避免了人工种植草坪护坡和平铺草坪护坡的缺点；但由于工量较大,容易对其造价、施工进度等方面造成不利的影响

框格内填土植草边坡绿化技术	在边坡上用预制框格或混凝土砌筑框格，再在框格内置土种植绿色植物的边坡技术	适合坡度较陡的岩质和贫瘠土质的河湖和水利工程大坝的护坡恢复	可靠性高，施工速度快，结构耐久性高，便于管理；但造价较高

附录 C 湖泊生态修复设计与实施细节方法

C.1 推荐水生植物物种表

表 C.1 推荐水生植物物种表

植物名称	水生植物	*拉丁名*
挺水植物	芦苇	*PhragmitDs communis* (Cav.) Trin. Dx StDud.
	水葱	*Scirpus validus Vahl*
	香蒲	*Typha oriDntalis PrDsl*
	菖蒲	*Acorus calamus* L.
	莲	*NDlumbo nucifDra* GaDrtn.
	菰	*Zizania latifolia* (GrisDb.) Stapf
	美人蕉	*Canna indica* L.
沉水植物	苦草	*VallisnDria natans* (Lour.) Hara
	金鱼藻	*CDratophyllum DmDrsum* L.
	黑藻	*Hydrilla vDrticillata* (Linn. f.) RoylD
	马来眼子菜	*PotamogDton wrightii* Miq.
	狐尾藻	*Myriophyllum vDrticillatum* L.
	菹草	*PotamogDton crispus* L.
	微齿眼子菜	*PotamogDton maackianus A. BDnnDtt*
浮叶植物	菱	*Trapa bispinosa* Roxb.
	荇菜	*NymphoiDs pDltatum*(GmDl.)O.KuntzD
	睡莲	*NymphaDa tDtragona GDorgi*
漂浮植物	浮萍	*LDmna minor* L.
	槐叶萍	*Salvinia natans* (Linn.) All
	水鳖	*Hydrocharis dubia* (Bl.) BackDr

C.2 推荐水生动物物种表

表 C.2 推荐水生动物物种表

	水生动物	拉丁名
鱼类	鲢鱼	*Hypophthalmichthys molitrix* Cuv.Dt Val.
	鳙鱼	*Aristichthys nobilis* Richardson
	乌鳢	*Channa argus*
	鳜鱼	*SinipDrca chuatsi*
	鲴鱼	*XDnocypris davidi* BlDkDr
底栖动物	环棱螺	*BDllamya quadrata* BDnson
	长角涵螺	*Alocinma longicornis* BDnson
	三角帆蚌	*Hyriopsis cumingii*
	背角无齿蚌	*Anodonta woodiana*

C.3 湖泊生态修复措施分类推荐表

表 C.3 湖泊生态修复措施分类推荐表

保护与治理类型	湖泊大小	湖泊名称	主要生态问题	污染防控措施							生境修复措施						水生生物恢复		保护管理措施
				点源污染防治		面源污染防治		内源污染治理	水质提升	水文水动力调控	湖滨带修复	其他措施	水生植物恢复	水生动物恢复与调控	珍稀特有物种保护	水面日常保洁维护	禁渔或生态养殖	人员活动管理	水生态养护
				入湖河流水质目标管理	入湖排污口污染治理	水体异位处理	农业面源污染	城市面源污染	清淤疏浚	底质原位修复	水体自净强化	旁路净化	水位调控	生态补水	护岸修复	消浪措施	基底修复	退垸还湖	洄游通道
					截污	溢流污染	小型污水处理	生态	源头	养殖业规范管	径流污染收集	湖滨生态缓冲							

					纳管	控制	设备	净化	防治	理	设施	带																			
自然保育	小型湖泊	鲩子湖、后襄河、内沙湖等21个湖泊	物理生境受损	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
			生物群落受干扰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	+	-	++	++	++	
			自净能力不足	-	-	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	++	-	-	++	
	中型湖泊	严家湖、牛山湖	物理生境受损	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	++	-	+	-	-	-	-	-	-	
			生物群落受干扰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	++	-	++	++	+	
			自净能力不足	+	+	+	-	-	+	+	++	++	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-	+	-	-	+	
	大型湖泊	梁子湖	物理生境受损	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	++	-	+	-	-	-	-	-	-	
			生物群落受干扰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	+	++	-	++	++	+	
			自净能力不足	+	+	+	-	-	++	++	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	+	
防治结	小型湖	塔子湖、小南湖、	水污染胁迫	+	+	++	+	+	-	-	+	+	-	-	++	+	-	+	-	-	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-	
			藻类水	+	+	++	+	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-	

合	泊	江汉西湖等94个湖泊	华												+									+	+					
			自净能力不足	+	+	+	−	−	−	−	+	+	++	++	++	+	−	+	+	+	+	−	−	++	++	−	+	−	−	+
			物理生境受损	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	+	−	+	−	+	−	−	+	−	−	−	−	−	−
			生物群落受干扰	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	++	+	−	++	++	++
	中型湖泊	外沙湖、严西湖、黄家湖等27个湖泊	水污染胁迫	+	+	++	+	+	+	+	+	+	−	−	+	+	−	+	−	−	−	−	−	−	++	−	−	+	−	−
			藻类水华	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	−	−	+	−	−	++	++	−	−	−	−	−
			自净能力不足	+	+	+	−	−	+	+	+	+	++	++	+	+	−	+	+	+	+	−	−	++	++	−	+	−	−	+
			物理生境受损	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	+	−	+	+	+	++	−	+	−	−	−	−	−	−
			生物群落受干扰	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	++	+	−	++	++	++
	大型湖泊	鲁湖、斧头湖、汤逊湖、后官湖、涨渡湖、	水污染胁迫	+	+	++	+	+	+	+	+	+	−	−	−	+	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	−
			藻类水华	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+	−	+	−	−	−	−	−	−	−	++	++	−	−	−	−	−
			自净能力不足	+	+	+	−	−	+	+	+	+	++	−	−	+	−	−	+	+	+	−	−	++	++	−	−	−	−	+
			物理生	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	+	−	+	+	+	+	−	+	−	−	−	−	−	−

		东湖	境受损																			+		+						
			生物群落受干扰	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	+ +	+ +	+
污染治理	小型湖泊	龙阳湖、青山北湖、王浪湖、下涉湖、坪塘湖、蔡甸莲花湖、鄢家湖、曲背湖、项家汊、汤湖	水污染胁迫	+	++	++	+	+	−	−	+	+	+	+	+ +	+	−	+	−	−	−	−	−	−	+ +	−	−	−	−	−
			藻类水华	+	++	++	+	+	−	−	+	+	+ +	+ +	+ +	+	−	+	−	−	−	−	−	+ +	+ +	−	−	−	−	−
			自净能力不足	+	++	++	+	+	−	−	+	+	+ +	+ +	+ +	+	−	+	+	+	+	−	−	+ +	+ +	−	+	−	−	−
			物理生境受损	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−	−	−	−	+	−	+	+	+	−	−	+	−	−	−	−	−	−
			生物群落受干扰	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+ +	−	−	+ +	+ +	+
	中型湖泊	墨水湖、东大湖、王家涉、柴泊湖、	水污染胁迫	+	++	++	+	+	++	++	++	++	+	+	+ +	+	−	+	−	−	−	−	−	−	+ +	−	−	−	−	−
			藻类水华	+	+	++	+	+	+	+	+	+	+ +	+ +	+ +	+	−	+	−	−	+	−	−	+ +	+ +	−	−	−	−	−
			自净能力不足	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ +	+ +	+ +	+	−	+	+	+	+	−	−	+ +	+ +	−	+	−	−	+

		陶家大湖	物理生境受损	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	-	+	+	+	++	-	+	-	-	-	-	-	-
			生物群落受干扰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	++	+	-	++	++	+

注：“++”表示推荐选用措施，“+”表示可以选用措施，但需结合具体实施条件，“-”表示无实施条件或不推荐选用措施；

小型湖泊＜2km2，2 km2＜中型湖泊＜30 km2，大型湖泊＞30km2;

小型自然保育型湖泊包括：鲩子湖、后襄河、内沙湖、四美塘、晒湖、牛尾湖、泥达湖、王龙湖、黄塘湖、西湖（江夏区）、姚子海、龙湖、桂子湖、上乌丘、杀牛海湖、中山湖、鬼神潭湖、下善湖、状元湖、前栏湖、车墩湖;

小型防治结合型湖泊包括：塔子湖、小南湖、江汉西湖、江汉北湖、菱角湖、机器荡子、竹叶海、张毕湖、汉阳莲花湖、月湖、水果湖、紫阳湖、青潭湖、竹子湖、杨春湖、野芷湖、肖家教、甘家教、潇湘海、李家教、山西晒、龙王沟、马投潭、北晒湖、杨四泾、釜湖、墨水湖、小罗晒、黄狮海、东银湖、月牙湖、巨龙湖、幺教湖、上金湖、银湖、杜公湖、下银湖、金湖、乾湖、杨蒋湖、道士湖、前湖、郭家湖、宋家启、军区湖、神山湖、金鸡赛、小金鸡赛、笔砚湖、白莲海、东北湖、石洋湖、小官莲湖、长洲赛、崇仁湖、庙汉湖、湘沉潭、龙家大湖、大茶湖、金堆湖、小茶湖、独沧湖、瓦家赛、金龙湖、许家赛、汪湖汉、兑公咀湖、三宝湖、金潭湖、李家大湖、西塞湖、张斗湖、长湖、胜家海、新澈湖、小菜湖、汤仁湖、盘龙湖、马家湖、麦家湖、任凯湖、安汉湖、柱木湖、坛子湖、竹林湖、湾湖、川江池、无浪湖、西边湖、北太子湖、汤湖、万家湖、烂泥湖、五加湖;

中型防治结合型湖泊包括：外沙湖、严西湖、野湖、黄家湖、青菱湖、南湖、金口后湖、上涉湖、枯竹海、桐湖、张家大湖、小豸湖、沉湖、蔡甸西湖、官莲湖、七湖、安仁湖、朱家湖、什子湖、童家湖、后湖、武湖、三角湖、南太子湖、硃山湖、严东湖、豹澥湖

附录 D 评估指标解读、数据来源与赋分标准

D.1 工程验收评估指标体系

D.1.1 生态效益

D.1.1.1 工程措施技术与生态问题的对应关系

D.1.1.1.1 污染源防治措施与点/面源污染问题的对应关系

指标解释：评估污染治理相关工程措施技术对解决子项目内点/面源污染问题的合理性和有效性。

数据来源：工程实施方案、验收材料、现场调查等。

D.1.1.1.2 生境修复措施与湖泊生态问题的对应关系

指标解释:评估生境修复相关工程措施技术对解决子项目内湖泊生态问题的合理性和有效性。

数据来源：工程实施方案、验收材料、现场调查等。

D.1.1.1.3 水生生物恢复措施与湖泊生态问题的对应关系

指标解释:评估水生生物恢复相关工程措施技术对解决子项目内湖泊生态问题的合理性和有效性。

数据来源：工程实施方案、验收材料、现场调查等。

D.1.1.2 生态胁迫因子消除程度

D.1.1.2.1 评估指标解释与赋分标准

评估体系所用指标数据源见表 D.1。

评估指标赋分采取三种方法，直接赋分法、限值赋分法和区间内线性插值法。

其中区间内线性插值方法如下:

例如某指标在数值为x在两限值之间，在两限值 x_0，x_1上的赋分值分别为 y_0，y_1，则某指标在 x 处的线性插值赋分公式如下:

$$得分(x)=y_0+\frac{y_1-y_0}{x_1-x_0}(x-x_0) \qquad (D.1)$$

D.1.1.2.2 水质污染消除与改善程度

水质污染消除与改善程度指标的赋分标准如下表 D.1，分级依据 SL 395 和 GB 3838，赋分采用区间内线性插值。

表 D.1 水质污染消除与改善程度指标赋分对照表

	赋分	溶解氧（mg/L）	综合营养指数 TLI	总磷（mg/L）	氨氮（mg/L）	高锰酸盐指数（mg/L）
分级指标及阈值	[90,100)	6-7.5	0-30	0.01-0.025	0.15-0.5	2-4
	[80,90)	5-6	30-50	0.025-0.05	0.5-1.0	4-6
	[70,80)	3-5	50-60	0.05-0.1	1.0-1.5	6-10
	[60,70)	2-3	60-70	0.1-0.2	1.5-2.0	10-15
	[0,60)	<2	>70	>0.2	>2.0	>15

D.1.1.2.2.1 综合营养状态指数 TLI

综合营养状态指数是反映湖泊富营养化状态的重要指标，综合营养状态指数 TLI 的对照评分见表 D.1，赋分采用区间内线性插值（TLI 大于 70，直接判为 0）。

具体计算方法如下:

以叶绿素 a 的状态指数 TLI（Chla）为基准，再选择 TP、TN、COD、SD 等与基准参数相近的（绝对偏差较小的）参数的营养状态指数，同 TLI（Chla）进行加权总和，综合加权指数计算见公式（D.2）:

$$TLI(\Sigma)=\sum_{j=1}^{M} W_j \times TLI(j) \qquad (D.2)$$

式中:

TLI(Σ)——综合加权营养状态指数;

TLI(*j*)——第 j 种参数的综合营养状态指数;

各参数综合营养状态指数依据公式（D.3）、（D.4）、（D.5）、（D.6）、（D.7）计算:

$$TLI(Chla)=10\times(2.5+1.086\ln Chla) \qquad (D.3)$$

$$TLI(TP)=10\times(9.436+1.624\ln TP) \qquad (D.4)$$

$$TLI(TN)=10\times(5.453+1.694\ln TN) \qquad (D.5)$$

$$TLI(SD)=10\times(5.118-1.94\ln SD) \qquad (D.6)$$

$$TLI(COD_{Mn})=10\times(0.109+2.661\ln COD_{Mn}) \qquad (D.7)$$

W*j*——第 j 种参数的综合营养状态指数的相关权重，见公式（D.8）。

$$W_j=\frac{R_{ij}^2}{\sum_{j=1}^{M} R_{ij}^2} \qquad (D.8)$$

其中：R_{ij}为第 j 个参数与基准参数的相关系数，M 为与基准参数相近的主要参数

的数目，R_{ij}与 R_{ij}^2值见表 D.2。各参数单位：TN、TP 和 COD_{Mn}为 mg/L；叶绿素 a 为 mg/m^3；SD 为 m。

表 D.2 参数与 Chla 的相关关系 R_{ij}与 R_{ij}^2值对照表

参数	Chla	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

D.1.1.2.2.2 溶解氧、总磷、氨氮、高锰酸盐指数

溶解氧、总磷、氨氮、高锰酸盐指数调查方法与标准参见《城市水生态修复工程成效评估规程（征求意见稿）》和 DB32/T 3202，分级依据参考 GB 3838，限值确定以水质指标限值划分，如以 I 类水与 II 类水指标限值为 100 和 90 的赋分限值，以此类推。需要注意的是若指标数值大于 V 类水限值，为劣 V 类则直接判为 0 分，无需使用线性插值，例如，总磷大于 0.2 mg/L 则该指标判定为 0。

D.1.1.2.3 生境修复程度

D.1.1.2.3.1 透明度

透明度水质指标调查方法与标准参见《城市水生态修复工程成效评估规程（征求意见稿）》和 DB32/T 3202，赋分边界值见表 D.3，赋分采用区间内线性插值（透明度>300 cm 可直接判为 100 分无需使用插值法）。

表 D.3 生境修复成效指标赋分对照表

	赋分	透明度（cm）	沉积物总氮指数 S_{TN}	沉积物总磷指数 S_{TP}	沉积物有机质指数 OI
分级指标及阈值	[90,100)	200-300	<1.0	<0.05	<0.05
	[80,90)	100-200	1.0-1.25	0.05-0.75	0.05-0.1
	[70,80)	50-100	1.25-1.5	0.75-1.0	0.1-0.2
	[60,70)	30-50	1.5-2.0	1.0-1.5	0.2-0.5
	[0,60)	10-30	>2.0	>1.5	>0.5

D.1.1.2.3.2 沉积物总氮、总磷、有机物指数

以湖泊沉积物的 TN、TP、OM 的指数指标表征底泥的营养水平，从而反映水体的清洁健康程度。沉积物指数指标包括沉积物总氮指数 S_{TN}、沉积物总磷指数 S_{TP}和沉积物有机质指数 OI。S_{TN}、S_{TP}和 OI 的计算过程参考相关研究。评价因子标准值

可取评估水域或评估水域所属一定区域内 1960 年代 TN、TP 实测值。沉积物指标调查方法参见《城市水生态修复工程成效评估规程(征求意见稿)》和 DB32/T 3202，赋分边界值见表 D.3，赋分采用区间内线性插值（S_{TN} 大于 2.0 可直接判为 0 分，无需使用插值法，其他沉积物指标同理）。

S_{TN}，S_{TP} 依据公式（D.9）计算:

$$S_I=\frac{C_i}{C_s} \qquad (D.9)$$

式中:

S_i——单项 i 评价指数;

Ci——评价因子 i 实测值;

Cs——评价因子 i 标准值。

OI 依据公式（D.10）计算:

$$OI=OC(\%) \times TN(\%) \times 0.95 \qquad (D.10)$$

式中:

OI——单项 i 评价指数;

OC(%)——有机碳含量;

TN(%)——总氮含量。

D.1.1.2.3.3 沉积物基底适应性改善程度

主要针对湖滨带基底修复和内源污染治理措施的评价指标，以适宜水生植物生长的基底环境为评价标准，可参照附录 B.1 水生植物恢复诊断中的沉积物适宜条件，以及《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》中的基底修复的技术要求综合评估与评级。

D.1.1.2.3.4 有害水生动物消除程度

主要针对底层杂食性和草食性的鱼类，以及入侵物种的控制效果的评估指标，可对比修复前的本底数值的比例和生物量进行统计评估与评级。

D.1.1.2.3.5 水文情势改善程度

主要针对水生植物恢复采取的消浪、水位调控和水动力改善措施的评价指标，可通过大型水生植物覆盖度(见下章节)和生态水位满足度进行综合评价与评级。其中生态水位满足度评估方法的最低生态水位可选择规划或管理文件确定的限值，或采用天然水位资料法、湖泊形态法、生物空间最小需求法等确定。

赋分标准：按照生态水位满足情况赋分，赋分标准如下表：

表 D.4 湖泊生态水位满足度评估赋分标准表

湖泊生态水位满足程度	赋分
年内 365 日 90%以上天数内日均水位均高于最低生态水位	100
日均水位低于最低生态水位，但 3 天滑移平均水位不低于最低生态水位	75
3 天滑移平均水位低于最低生态水位， 但 7 天滑移平均水位不低于最低生态水位	50
7 天滑移平均水位低于最低生态水位	30
14 天滑移平均水位低于最低生态水位	20
30 天滑移平均水位低于最低生态水位	10
60 天滑移平均水位低于最低生态水位	0

D.1.1.2.3.6 湖泊联通指数

根据环湖主要入湖河流和出湖河流与湖泊之间的水流畅通程度评估。按照公式（D.11）计算得分：

$$CIS=\frac{\sum_{n=1}^{N_S} CIS_n Q_n}{\sum_{n=1}^{N_S} Q_n} \qquad (D.11)$$

式中：

CIS——湖泊联通指数赋分；

N_S——环湖主要河流数量，单位：条；

CIS_n——评估第 n 条环湖河流联通性赋分；

Q_n——评估年第 n 条河流实测的出（入）湖泊水量，单位：万 m^3/a。

D.1.1.3 生态系统质量改善

D.1.1.3.1 植物覆盖度变化量

D.1.1.3.1.1 大型水生植物覆盖度

大型水生植物状况重点评价湖库滨带向水水域内的浮水植物、挺水植物和沉水植物三类植物中非外来物种的总覆盖度。水生植物覆盖度的对照评分情况见表 D.4，赋分采用区间内线性插值。水生植物覆盖度计算公式如下：

$$f=\frac{A+B+C+D}{S}\times 100\% \qquad (D.12)$$

式中:

j——植物覆盖率;

A——沉水植物面积，单位：m^2;

B——浮水植物面积，单位：m^2;

C——漂浮植物面积，单位：m^2;

D——挺水植物面积，单位：m^2;

S——水体总面积，单位：m^2。

表 D.4 生态系统质量改善指标赋分对照表

	赋分	大型水生植物覆盖度（%）	浮游植物密度（ × 10^4 ind./L）	叶绿素 a（mg/L）	浮游动物多样性指数	底栖动物 BI 指数
分级指标及阈值	[90, 100）	85-100	500-1000	0-0.001	3.5-4	0-4.25
	[80, 90）	60-85	1000-2000	0.001-0.01	3-3.5	4.25-5.75
	[70, 80）	50-60	2000-4000	0.010-0.026	2-3	5.75-6.5
	[60, 70）	40-50	4000-6000	0.026-0.16	1-2	6.5-7.25
	[0, 60）	0-40	6000-10000	>0.16	0-1	7.25-10

D.1.1.3.2 生物量变化量

D.1.1.3.2.1 浮游植物密度

浮游植物细胞（个体）密度一般采用视野计数法，单位 ind./L。浮游植物密度的计算方法见《城市水生态修复工程成效评估规程(征求意见稿)》和 DB32/T 3202，浮游植物密度的对照评分情况见表 D.4，赋分采用区间内线性插值。

D.1.1.3.2.2 叶绿素 a

叶绿素 a 含量属于水质调查指标。水质指标调查方法与标准参见 2.1.2 章节，分级依据参考 GB 3838。叶绿素 a 的对照评分情况见表 D.4，赋分采用区间内线性插值（叶绿素 a 含量大于 0.16 mg/L 判为 0 分，无需采用插值法）。

D.1.1.3.2.3 沉水植物生物量变化情况

沉水植物覆盖率达 50%以上，平均生物量 2500g/m2 以上，可评 80-100 分；沉水植物覆盖率 20%-50%，平均生物量 500-2500 g/m2，可评 60-80 分；沉水植物覆盖率低于 20%或平均生物量低于 500 g/m2，不得分。

D.1.1.3.3 物种丰富度变化

D.1.1.3.3.1 浮游动物多样性指数

应用数理统计方法求得表示浮游动物群落的种类和个数量的数值,用以评估群落结构和稳定性。浮游动物多样性指数的对照评分情况见表 D.4，赋分采用区间内线性插值。

浮游动物多样性指数用香农-威纳多样性指数（Shannon-WDinDr inDx）表征。计算公式如下:

$$\acute{H}=-\sum_{i=1}^{S}\left(\frac{n_i}{N}\right)\ln\left(\frac{n_i}{N}\right) \qquad (D.13)$$

式中:

n_i——第 i 种浮游动物个体数;

N——总个体数;

S——物种数。

D.1.1.3.3.2 底栖动物 BI 指数

底栖动物动物 BI 指数指的是是利用不同的水生大型底栖无脊椎动物对有机污染有不同的敏感性/耐受性与不同类群出现的丰度信息对监测位点水体质量状况进行评价的一种生物指数。已有的评价标准为：清洁 0<HBI≤4.25；较为清洁 4.25<HBI≤5.75；轻度污染 5.75<HBI≤6.5；污染 6.5<HBI≤7.25；严重污染 7.25<HBI≤10。物种及耐污值分类单元参数可参照已有文献，具体数值和对照表在说明文件中提供。底栖动物 BI 指数的对照评分情况见表 D.4，其赋分采用区间内线性插值。

底栖动物 BI 指数依据公式（D.13）计算:

$$BI=-\frac{\sum_{i=1}^{S}n_i t_i}{N} \qquad (D.14)$$

式中:

n_i——第 i 分类单元的个体数;

t_i——第 i 分类单元的耐污值;

N——各分类单元的个体总和;

S——为分类单元数。

D.1.1.3.3.3 沉水植物丰富度

沉水植物丰富度可按照下表规定评级

表 D.5 **沉水植物丰富度分级评价标准**

沉水植物群落状况分级	**标准描述**	**分值**
丰富	水生植物种类 8 种及以上，配置合理，植株密闭	100-90
较丰富	水生植物种类 5-7 种，配置较合理，植株数量多	90-80
一般	水生植物种类 2-5 种、植株数量不多且散布	80-60
较少	水生植物种类单一、植株数量较少且稀疏	60-30
无	难以观测到水生植物	39-0

D.1.1.4 工程实施方案合理性

D.1.1.4.1 子项目关联性

指标解释: 围绕保护修复单元的主要生态问题与保护修复目标，采取定量与定性结合的方法，评估各保护修复单元内子项目的关联与协调程度。

数据来源: 工程实施方案、验收材料、现场调查等。

D.1.1.4.2 时序安排合理性

指标解释: 评估是否按照源头控制、过程阻断、末端治理，流域上中下游系统修复，有序安排实施子项目。

数据来源: 工程实施方案、验收材料、现场调查等。

D.1.2 社会效益

D.1.2.1 技术创新性

D.1.2.1.1 技术研发与成果转化

针对在湖泊范围内开展的废水处理技术和水体修复技术的综合评估指标,具体评估办法可参照 T/CSES 26。

D.2 工程后效评估指标体系

D.2.1 生态效益

D.2.1.1 生态胁迫因子消除程度

D.2.1.1.1 水质长效保障程度

D.2.1.1.1.1 综合营养状态指数 TLI

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.2.2.1。

D.2.1.1.1.2 溶解氧、总磷、氨氮、高锰酸盐指数

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.2.2.2。

D.2.1.1.2 生境修复程度

D.2.1.1.2.1 透明度

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.2.3.1。

D.2.1.1.2.2 有害水生动物消除

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.2.3.6。

D.2.1.1.2.3 生态水位满足程度

生态水位满足程度用湖泊(水库)平均水位连续达到最低生态水位的天数来衡量，最低生态水位依据相关规划或管理文件确定的限值，或采用天然水位资料法、湖泊形态法、生物空间最小需求法等确定。

对于有连续水位监测数据的湖泊，参考全年水位监测数据进行量化。最低生态水位满足程度采用限值赋分法，即低于最低生态水位 0 天为 100 分，1 天为 90 分，2 天为 80 分，3 天为 70 分，4 天为 60 分，大于 4 天直接判定为 0 分。对于无法获取连续水位监测数据的湖泊，可将此项权重均分至同准则层其他指标。

D.2.1.1.2.4 湖泊联通指数

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.2.3.6。

D.2.1.2 生态系统质量改善

D.2.1.2.1 植物覆盖度变化量

D.2.1.2.1.1 大型水生植物覆盖度

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.1.1。

D.2.1.2.2 生物量变化量

D.2.1.2.2.1 浮游植物密度

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.2.1。

D.2.1.2.2.2 叶绿素 a

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.2.2。

D.2.1.2.2.3 沉水植物生物量变化情况

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.2.3。

D.2.1.2.3 物种丰富度变化

D.2.1.2.3.1 浮游动物多样性指数

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.3.1。

D.2.1.2.3.2 底栖动物 BI 指数

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.3.2。

D.2.1.2.3.3 沉水植物丰富度

相关评估指标的计算方法及数据来源同附录 D.1.1.3.3.3。

D.2.1.3 生态环境监测情况

D.2.1.3.1 监测点布设合理性

指标解释：评估监测点位数量、空间分布合理程度。

数据来源：文献资料、现场调查等。

D.2.1.3.2 监测指标科学性

指标解释：评估监测指标构建的科学合理程度。

数据来源：文献资料、现场调查等。

D.2.1.3.3 监测数据完整性

指标解释：评估监测数据完整程度。

数据来源：文献资料、现场调查等。

D.2.1.4 运维管理情况

D.2.1.4.1 管护机制建立情况

指标解释：评估是否建立规模化、专业化、社会化运营管护机制，是否落实管护责任人、管护经费。

数据来源：资料收集、现场调查与访谈等。

D.2.1.4.2 管护措施落实情况

指标解释：评估是否做好基础设施的运行和维护。

数据来源：资料收集、现场调查与访谈等。

D.2.1.4.3 适应性管理

指标解释：评估是否根据长效跟踪监测评估发现的生态风险，建立相应处置机制与措施。

数据来源：文献资料、现场调查等。

D.2.2 社会效益

D.2.2.1 本地居民满意度

D.2.2.1.1 感官满意度

单张问卷感官满意度为其水质和水体气味两项评分均值，由公众打分所得，反映公众对该湖泊水质修复治理成效的感官满意程度。感官满意度指标得分为所有完成打分问卷中感官满意度均值。

D.2.2.1.2 体验满意度

单张问卷体验满意度为其水生态、亲水活动两项评分均值，由公众打分所得，反映公众对该湖泊的生态体验满意程度，体验满意度指标得分为所有完成打分问卷中体验满意度均值。

D.2.2.1.3 景观满意度

单张问卷景观满意度为其水景观、湖滨绿化景观两项评分分数的平均值，由公众打分后统计汇总所得，反映公众对水景观和湖滨绿化景观观赏性和娱乐性的满意程度。景观满意度指标得分为所有完成打分问卷中景观满意度均值。

D.2.3 经济效益

D.2.3.1 生态衍生产业产值

指标解释：采取定量与定性结合的方法，评估工程是否充分带动了相关产业的发展。

数据来源：统计局、财政、自然资源等部门，以及现场调查与访谈等。

武汉市 地方标准
DB 4201/T XXXX-XXXX

武汉市湖泊水生态修复和评价技术规程

条文说明

武汉市位于长江中下游江汉平原，素有“百湖之市”之称。湖泊是武汉最具特色的自然资源。据统计，武汉市列入保护目录的湖泊有 166 个，湖泊水面面积约 867 平方公里，占全市水域面积的 41%。近年来，我国湖泊生态修复开展了大量探索和实践，但仍存在一些问题，主要体现为湖泊生态修复设计标准、规范和技术体系仍不完善，对因地制宜欠考虑，对前期调查与诊断、方案设计与施工，以及管理维护等过程缺少专业判断，导致修复效果好坏参半。为此，武汉市水务局（湖泊局）组织编制《武汉市湖泊水生态修复与评价技术规程》(以下简称本规程)，旨在通过制订本规程，为武汉市湖泊生态修复工程的规范化、标准化以及成效评估提供技术支撑和依据。规程编制团队总结近年来湖泊水生态修复治理思路和措施，结合武汉市近年来的湖泊生态修复工程的实地调研情况与水生态采样调查结果，参考国内外相关标准和文献，经广泛征求意见与总结，编制了本规程。

为便于广大设计、施工、科研、公众和政府单位等有关人员在使用本技术规范时能正确理解和执行条文规定，编制组按章、节、条顺序编制了本标准的重点的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。其中本规程的 1-3 章节的内容是常规规定，有关人员较容易理解，在此不做详细说明。

4 基本规定

4.1 一般规定

本章节 4.1.1，4.1.2，4.1.3，4.1.4 的内容主要依据是编制团队总结的湖泊生态修复工程实践经验，征求各方专家意见，以及参考已有团体标准 T/CSES 79 的规定后得出。

4.2 目标与原则

本章节是关于湖泊生态修复与评价技术规程的基本原则，湖泊生态修复的总体目标、具体目标和考核指标的基本规定，以及湖泊水生态修复成效评价的基本规定。

4.3 技术流程

本章节总结了湖泊生态修复工程的主要技术流程，方案设计中的修复模式选择、维护与管理中的修复目标反馈和补充性修复的内容参考了《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 2 部分：地表水和沉积物》，方案设计中的修复措施比选、实施与监管中的示范与试验工程实施参考了《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南》。

5 湖泊生态调查与评估

5.1 生态调查

本章节规定了与不同生态修复设计阶段的深度相匹配的调查类别，以及常用的调查方式和评估诊断方法等内容。

（1）调查目的

湖泊生态调查的目的是为评估湖泊生态系统的受损程度，诊断受损原因，确定湖泊生态系统的修复目标，为开展湖泊生态修复工程设计、生态系统保护、管理和合理利用提供完整、准确的基础资料和设计参考依据。

（2）调查内容

湖泊基本调查是了解湖泊的本底状况和开展水生态修复的基础。其中大部分内容可通过收集政府和管理部门发布的资料，如统计年鉴和相关公开数据获取，调查内容参照了《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南》《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《湖滨带生态修复工程技术指南》、《河湖生态修复工程运行与维护技术导则》的相关规定。

湖泊专项调查是评估和诊断湖泊生态环境问题的核心调查内容，应按照“三水统筹”的理念，从物理、化学和生物多维度综合调查分析湖泊的生态系统状况及生态环境问题，其中物理和化学维度对应湖泊生境状况，生物状况则针对湖泊水生生物，生态胁迫因子对应生态环境问题。

（3）调查指标

在对湖泊生态系统状态进行调查时，选取的指标应对湖泊生态系统受损情况较为敏感，可以较好的体现湖泊生态系统受损的程度，同时这些指标需要能够体现湖泊生态系统的系统性，即物理完整性、化学完整性和生物完整性，其中水生生物调查是生态系统状态调查中最为重要的方面，尤其是建群种和指示

种。

本章节中列举的基础调查和专项调查指标较为全面，而在实际操作中不可能完全收集到湖泊的所有数据资料，而且对所有指标进行调查是比较困难的。因此调查的指标内容只是推荐和建议，在范围不变的情况下，在选取调查指标时应针对不同类型湖泊的典型生态问题，选择能表征湖泊面临的主要问题的相关指标，实施前建议多咨询相关领域的专家或对项目情况比较熟悉的专业人士。

5.2 生态评估与诊断

本章节规定了评价与诊断结果的要点，这是根据上述章节的内容总结得出，并参考了《湖滨带生态修复工程技术指南》和《湖北省河湖健康评估导则》、《河湖健康评估技术导则》、《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》中的规定。

（1）评价参照系

湖泊生态系统受损大部分是因为人类工业化和城市化活动引起的污染物排放、水资源利用和湖泊改造，按照生态修复的经典理论，参照系需要关注湖泊生境发生大幅改变——湖泊流域城市化和工业化之前的状态，或尽量选择湖泊最为原始的状态作为参考状态，参照湖泊需满足以下一些条件：① 生境要素：调查区域上游无点源污染；农田和城镇覆盖率低；调查点周边区域无明显人类活动干扰迹象；植被生长状态较好（湖滨岸带有自然的植被生长，浅水区有沉水植物生长等）。②水质要素：水体清澈，透明度高，无任何异味。③生物要素：生物优势种以清水种或敏感种为主。还可选取现状评价为健康或历史上生态环境状况优良（要求有历史数据记录）的湖泊。

（2）生态健康状况评估

根据调查内容和参照系对湖泊生态健康进行评估，指标赋值计算、综合评价指标体系、流程和方法可参考现有国家、地方和行业团体标准《河湖健康评估技术导则》、《湖北省河湖健康评估导则》和《受损湖泊生态修复技术导则》。

（3）问题诊断

根据湖泊生态健康评价结果，参照健康的湖泊生态状态，诊断湖泊生态受损的问题和原因，可采用时间序列、相关性分析等多种分析方法，识别导致湖

泊生态系统退化的胁迫因子，胁迫因子宜包括水环境污染、湖滨带空间挤占或破坏、渔业养殖，水文情势等因素，如胁迫因子较多，可选择对生态系统造成最严重损害的若干个方面作为关键胁迫压力进行分析。技术分析方法和流程可参考《全国生态状况调查评估技术规范——生态问题评估》、《国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程》、《受损湖泊生态修复技术导则》、《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 1 部分：总纲》、《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节第 2 部分：损害调查》和《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 2 部分：地表水和沉积物》。

6 湖泊生态修复总体规划设计

6.1 一般规定

本章节 6.1.1、6.1.2 条文中规定的具体修复措施参考了《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》、《受损湖泊生态修复技术导则》、《河湖生态保护与修复规划导则》、《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》的有关内容。

编制团队通过对武汉市湖泊修复工程的现场调研，分析已经实施的湖泊治理的工程设计方案，以及评估工程治理成效后，结合现有修复技术的国内外应用经验，发现了过度修复、缺乏适应性管理和跟踪监测的问题，在目标可达性论证和技术措施比选上也乏善可陈，故总结了 6.1.3、6.1.4 和 6.1.5 条文的规定。

6.2 湖泊生态修复目标

本章节规定了武汉市不同大小的湖泊生态修复的任务目标，考核指标确定方法以及目标和指标体系的量化设定方法。任务目标主要参照《武汉市水生态环境保护“十四五”规划》、《武汉市水污染防治规划（2016～2030 年）》、《武汉市水功能区划》、《武汉市中心城区湖泊“三线一路”保护规划》、《武汉市湖泊保护总体规划》中的规划目标和湖泊保护修复内容。针对性的不同类型湖泊的生态修复任目标参考了《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》中的规定，并将武汉市湖泊按照湖泊面积与对应的湖泊数量之间的分布关系分为了小型（＜2 km2，共 125 个）湖泊、中型（2-30 km2，共 33 个）和大型（＞30km2，共 8 个）湖泊。

考核指标和量化确定方法主要参考《湖北省河湖健康评估导则》、《河湖健康评估技术导则》、《湖滨带生态修复工程技术指南》和《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》的相关规定。

湖泊生态修复应根据地区经济状况、湖泊受损程度和现有技术水平等方面统筹规划，设定科学合理、具有可操作性的生态修复目标。对于有历史监测数据、可以追溯到参照状态的湖泊，生态修复的目标应定为未受损的历史状态；对于缺乏历史监测数据的湖泊，生态修复应以近似区域（江汉平原）受人类干扰较少的湖泊或湖区的状况为目标；对于已有生态健康调查基础的湖泊，生态修复应以查缺补漏为主。

编制团队通过调研发现大部分湖泊的设计方案中，生态修复的任务目标和考核指标没有进行必要的可达性论证过程，导致修复效果不佳，故参考《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 1 部分：总纲》和《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 2 部分：地表水和沉积物》部委标准，以及团队经验，对不同湖泊的修复目标进行时间跨度上的分类实施，并提出了可达性论证方法。

编制团队针对现有的工程设计方案和实施情况，创新提出了将水生动植物的关键胁迫因子（具体要求可见附录 A）作为生态修复可行性的主要判断依据，以规范和明确水生动植物与湖滨带的修复工程的可行性与难度，以及为实施修复的区域与面积等关键工程参数提供设计依据。

对于不可控因素，通过汇总讨论编制团队熟悉的国内湖泊生态修复工程实施经验和研究总结，规定了查阅国内外相似案例资料，调研相似工程项目和试点研究等方法确定生态修复工程的技术方案与目标。

6.3 湖泊水生态修复措施

本章节规定了湖泊水生态修复基本方案和补偿性修复方案的具体措施要求和技术细节，包括污染防治措施、生境修复措施、水生生物恢复措施，分区，分类、分阶段的生态修复设计要点等，主要结合编制团队的工程技术经验，以及参考和总结了国内的一些相似湖泊生态修复的技术标准，主要包括《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南》、《受损湖泊生态修复技术导则》、《农田面源污染防治技术指南》、《湖滨带

生态修复工程技术指南》和《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》、《湖泊河流环保疏浚工程技术指南》和《河湖生态疏浚工程施工技术规范》、《污水自然处理工程技术规程》、《退垸（田、渔）还湖技术指南》、《湖滨生态系统构建与稳定维持技术指南》、《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》、《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》。

7 湖泊生态修复工程实施与监管

7.1 工程实施

编制团队根据湖泊生态修复技术研发与工程示范的相关经验，以及参考相关技术标准，规定了制定工程实施方案的具体要求，特别是在不确定的特殊情况、分区分批实施细节和修复措施的实施次序方面做了明文规定。

生态修复技术的工程施工办法和实施要点可参考以下规范标准:《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《园林绿化工程施工及验收规范》、《河湖生态疏浚工程施工技术规范》、《水生生物增殖放流技术规程》、《山水林田湖草生态保护修复工程施工技术规范》、《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》。

在工程实施过程中的生态环境影响应注意防范有害物种泛滥、营养盐集聚而导致的藻类爆发、营养元素不足而导致的植被群落退化、引入了入侵种后有害物种的过度繁殖而导致的乡土种批量死亡、已有的雨污排口改造中排污量超过环境的自净能力而导致的系统崩溃等。

7.2 工程监理

本章节工程监理的规定参照了现行地方标准规范《山水林田湖草生态保护修复工程监理规范》和《建设工程监理规程》，并满足行政部门的监督管理要求。

7.3 工程验收

本章节规定了工程验收的程序，内容和次序，可参照《园林绿化工程施工及验收规范》、《国土空间生态保护修复工程验收规范》和《山水林田湖草生态保护修复工程验收规程》的规定执行;

编制团队调研过程中，发现工程竣工验收存在明显的漏洞，即只验收水质而不考虑长期稳定的生态系统修复效果，而且项目人员对湖泊水生态健康的概

念理解不足，因此技术团队编制中规定了生态修复效果专项验收和工程竣工验收的前置条件。即验收程序中应进行湖泊生态系统健康调查和成效评估。

考虑到武汉市湖泊众多，但生态修复的技术研发能力和全国其他一、二线城市相比还是投入不足，为强化武汉市的湖泊生态修复技术力量与团队，规定了鼓励验收程序中增加湖泊生态修复工程的社会效益——创新技术研发和成果转化应用的条文。

8 湖泊生态修复工程运维与管理

8.1 一般规定

湖泊修复工程的维护和管理应以保障湖泊生态修复工程的生态健康和稳定性，水质达标等工程效益为目标，具体要求应包括前期方案设计、管理机制、运维管理方案，跟踪检测评估、规章制度、事故应急预案、时序划分、成效评估等，并鼓励大数据和信息技术的应用。

8.2 运行维护措施

运行维护措施应分为常规措施、具体工程措施和应急措施。湖泊生态修复常规维护措施的内容，包括保洁，人类活动管控和设备设施的维护。工程措施中生态净化技术运维规定可参考《受损湖泊修复工程运行与维护技术指南》，小型污水处理设备根据《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》的相关规定进行了总结优化；湖滨带生态修复工程运行维护的内容，主要包括植物群落维护与管理、水生动物维护、基底边坡维护，具体运维技术和规定可参考《受损湖泊修复工程运行与维护技术指南》、《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》；生态修复工程生物群落维护的内容，主要包括水生植物种植与群落优化、水生植物的收割、生物入侵与虫害管理，以及水生动物养护管理等，具体运维技术和规定可参考《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《受损湖泊修复工程运行与维护技术指南》和《湖滨带生态修复工程技术指南》。

8.3 应急措施

湖泊水质异常、鱼类病害，藻类爆发、特殊天气等突发事件应通过应急措施将对湖泊生态系统的影响降到最低，具体运维技术和规定可参考《城市景观

湖泊水生态修复及运维技术规程》、《河湖生态修复工程运行与维护技术导则》和《受损湖泊修复工程运行与维护技术指南》。突发蓝藻水华场景下需进行的蓝藻水华控制措施，包括蓝藻水华监测预警，鱼类监测与调控，底泥疏浚措施，蓝藻打捞和应急处理措施，技术要求可参照现行标准《湖库蓝藻水华应急控制技术指南》的相关规定。

9 湖泊生态修复成效评估

（1）评估原则与内容

编制团队根据 2022 年湖北省地方标准《城市水生态修复工程成效评估规程》的编制经验，建立了一套涵盖物理生境、水生生物、水体理化等指标的湖泊水生态修复成效评价内容和原则，规定了生态修复成效评估的技术流程，以及实施生态环境成效评估的具体工作内容，包括从确定评估范围到准备资料数据，再到评估计算分级和编写技术报告等环节。

此外根据《国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程》和《国土空间生态保护修复工程验收规范》中要求的工程规划、工程设计、工程实施、管理维护等工程技术流程阶段，结合工程实施节点，明确了湖泊生态修复工程成效评估在不同阶段的评估内容，以满足不同阶段评估需求，因此本章节规定了两个评估指标体系，分别是工程验收评估体系和工程后效评估体系。

（2）评估方法与指标

本章节在对前期国内相关技术指南、规范、标准等梳理分析的基础上，综合考虑指标的代表性、典型性、可比性及可操作性等原则，建立了评估指标库，通过多次专家咨询论证，结合案例区测试，确定了评估指标体系，即从工程措施技术与生态问题的对应关系、生态胁迫因子消除程度、生态系统质量改善、工程实施方案合理性、技术创新性等 5 个方面展开工程验收评估；从生态胁迫因子消除程度、生态系统质量改善、运维管理情况、本地居民满意度、生态衍生产业产值的等 5 个方面展开工程后效评估。

指标的量化可采用定性和定量相结合的方式，选取专家打分、模型测算、层次分析等评级计算方法，并通过制定赋分细则，明确各项评估指标的赋分说明、评分方法和评分依据。评估计算方法包括评估指标计算方法、数据来源和

评估结果计算方法，可参考《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》和《城市水生态修复工程成效评估规程》的规定。

（3）评估结果

本章节规定了评估结果和报告提交要求。应基于评估计算和分级结果，编制验收评估报告和后效评估报告，评估报告提纲模板可参照《生态保护修复工程实施生态环境成效评估技术指南》，包括前言、总则、工程实施基本情况、工程实施生态环境成效评估、主要问题、相关建议及附件等内容。其中，前言主要说明生态保护修复工程实施生态环境成效评估的工作背景与意义、组织形式、工作过程与评估结论。工程实施基本情况主要概述工程范围、实施方案目标与进度安排、工程组织实施情况等。工程实施生态环境成效评估主要说明各项评估指标得分依据，说明生态环境成效各项指标评估基本情况、相关辅证材料及指标分值，明确评估时段成效等级，阐述实施生态环境成效评估工作的评估结论。主要问题是在评估过程中总结归纳湖泊生态修复工程实施与管理等方面存在的问题。相关建议主要根据评估结果与评估中发现的问题，提出生态修复工程实施和管理的意见与建议。报告中的表格模板可参照《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》。

附录 A 湖泊水生生物恢复措施可行性诊断方法要点

本章节分析了恢复水生维管束植物和水生动物，以及确定湖岸带修复的区域的诊断技术方法。主要依据的是现有的湖泊生态修复的技术理论和编制团队的实践经验。具体的，沉水植物的成功恢复因为是最重要的湖泊清水稳态转换与富营养化湖泊治理的前提条件，其恢复难度又最大，因此将沉水植物恢复的关键胁迫因子作为生态修复可行性的主要判断依据。

（1）水生植物恢复诊断

一般来说，水生植物作为湖泊生态系统的一个重要的组成部分，恢复它一般需要考虑湖滨带结构、水深范围、水温、pH/碱度等环境因素；物候条件、旱涝极端气候、水文情势等气象因素；水体营养盐水平、水下光照条件、沉积物条件等综合因素；航运、供水、排污等人类活动；入侵种、鱼群结构等生物因素；以及低氧、藻毒素、硫化物、重金属等有毒有害物质的胁迫因素。而水生植物的生

理生态学特征与这些环境要素之间的响应关系是开展水生植物恢复评估的重要的基础性研究，以水生植物恢复中重要的生理生态特征——生物力学性能为例，它不仅直接受到波浪、流速和食草动物等机械胁迫的影响，也被受污染底泥，高氮、磷浓度的水体和低可利用光等富营养化湖泊生境主要特征影响，且具有一定的协同作用。此外，还有其他间接因素，如藻毒素和高浓度硫化物等富营养化湖泊生境中的次生胁迫因素，而且水生植物的生物力学性能还严重受到整个流域环境下的异常降雨、干旱和水利工程调控的水文节律和情势影响，即水生植物在不断更替的水－陆生生境下，机械胁迫作用增加，造成植株断枝、拔根等机械损伤增多，进而降低植株利用资源和物质合成的耐受能力，也会严重影响机械断枝的扩散和生根定植能力，从而影响水生植物的恢复效果和目标。总之，目前研究表明水生植物的生物力学性能与环境因素的响应机理还需要长期的、系统的、多重因子综合作用的、多种的、群落的自然水体和室内实验相结合的研究来探讨总结.

此外，湖泊生态系统是生物和环境因子共同作用的复杂的综合系统，而且每个环境因子与其他因子都能产生相互联系、相互制约的作用关系，某些重要的环境因子会对水生植物的繁殖和生长产生交互的胁迫作用。例如水体富营养化会引发湖泊的底泥沉积污染、水体氮磷浓度升高、可利用光降低、藻毒素累积、溶解氧浓度降低和硫化物浓度升高等一系列因素的改变，这对水生植物的生长会产生直接的胁迫效应，而湖泊中的波浪、水流、航运以及食草动物等机械胁迫因素也会造成水生植物的机械损伤，并且这些机械胁迫因素在对根生水生植物产生机械作用力的同时，也会促进水－气界面气体交换、水－泥界面氮磷释放和底泥再悬浮等——增加水体溶解氧、二氧化碳和氮磷等营养物质浓度，减少可利用光——进一步加剧了水体富营养化对水生植物的胁迫作用。已有部分研究表明波浪和营养，以及营养和光照时间对水生植物的形态、代谢、生物力学性能等方面的影响存在一定的相互作用，但多集中在单一或 2-3 种物种对上述 2-3 个因素在实验室条件下的短期响应，而在室外湖泊自然水体中针对多个水生植物物种甚至群落对多重环境因素的综合的、长期的响应还缺乏深入系统的了解。

因此，现阶段水生植物恢复的这些影响因素由于基础理论与室内外实验的研究不足的问题，本技术指南中不可能将这些影响因素全部总结到位，而且某些主要的环境要素阈值的评估是在长江流域个别湖泊的研究成果和经验总结，可以作

为一个参考值，而具体的参数设置情况还需要实地调查研究和实验得出。

结合湖泊生态修复实施难度和以往编制团队在长江中下游和云贵地区湖泊修复工程的研究经验，以及参考相关的河湖生态修复技术标准（《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《湖滨生态系统构建与稳定维持技术指南》、《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》、《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》），将水生植物恢复的关键胁迫因子定为水体营养盐、水下光照条件、沉积物条件、湖滨带基底、水文情势、水生动物和其他因素等，而为确保复杂的湖泊生态环境下的水生植物的成功修复，规定了现有技术条件下需结合具体工程案例进行小面积试点实验和大面积工程示范研究的建议。

水体营养盐参考国外经典清水转换理论的营养盐阈值（赵磊等，2014），结合国内实践确定开展湖泊生态修复的水体营养盐浓度宜控制在 TP≤0.1mg/L，TN≤2mg/L 的范围。

水下光照的“光补偿深度按照水深和透明度的比例，即 2.5-3 倍估算”依据文献（合田健等，1989；王海军，2007）中的结论和编制团队的工程实践经验确定。“真光层深度／水深之比在 0.6-0.8 之间”参照文献 Liu X et al.，2016。“湖泊水层底部的光照强度高于湖泊水面光强的 1 %－3 %”参考文献 Wetzel RG.，2001。

“沉积物厚度不小于 20cm，质地宜以松软为主”参考《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》，“容重在 1.3-1.7g/cm3 的范围，含水率介于 30%-70%，有机质小于 20%”参考文献：He et al.，2021；Barko et al.，1986；Silveira et al.，2015。“不应有超标的重金属、硫化物等有毒有害物质”参考《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》中的规定。

水文情势中不同水生植物的适宜水深条件参考《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》，风浪与水力扰动规定参考文献祝国荣等（2017）。

水生动物的规定参照《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》和《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》。

其他因素主要参考文献祝国荣等（2017）和吴振斌所著的《水生植物与水体生态修复》。

（2）水生动物恢复诊断

湖泊生态系统类型、非生物环境因子、总体生物量控制可直接参考《湖泊渔业生态类型参数》的规定；物种生态位与适应性参考《内陆水域"测水配方"水生态养护技术规范》中的相关规定；关键胁迫因子参考《渔业水质标准》、《渔业生态环境监测规范 第 3 部分：淡水》、《淡水渔业生态环境监测规范》中的相关指标规定；其他因素主要参照《湖泊渔业生态类型参数》、《城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程》、《湖滨生态系统构建与稳定维持技术指南》、《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》、《湖滨带生态修复工程技术指南》中的规定。

附录 B 常用河湖生态修复工程技术适用条件与技术性能表

B.1 常用河湖水体生态修复技术适用条件与技术性能表

生态修复技术综合评价内容是结合编制团队的工程经验，以及参考《生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 2 部分：地表水和沉积物》、《城市受损水体生态恢复技术导则》和《城市景观水体水质提升技术指南》后编制的。

B.2 常用湖滨带恢复技术适用条件与技术性能表

湖滨带恢复技术综合评价内容是结合编制团队的工程经验，以及参考《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》、《城市受损水体生态恢复技术导则》后编制的。

附录 C

推荐水生植物与水生动物修复物种是参照《受损湖泊生态修复技术导则》、《湖滨生态系统构建与稳定维持技术指南》、《城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南》和总结武汉市湖泊本土水生生物特点，以及市场可得性得出。

湖泊生态修复措施分类推荐表是编制团队结合武汉市湖泊现状和治理成效，以及团队的技术经验，和评审专家一起讨论后得出的。

附件 D 评估指标解读、数据来源与赋分标准

主要评估指标内容是参考《湖北省河湖健康评估导则》、《退垸（田、渔）还湖技术指南》、《自然保护区生态环境保护成效评估标准》、《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 3 部分：恢复效果评估（征求意见稿）》、《国土空间生态保护修复工程成效评估规范》和《城市水生态修复工程成效评

估规程》的规定。其中指标 D.1.1.3.2.3 沉水植物生物量变化情况是编制团队根据长江中下游湖泊长期的水生植物调查结果和近期武汉市湖泊成效评估调查后的结果对比后规定的。

参考文献

1. GB/T 39792.1 生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 1 部分：总纲
2. GB/T 39791.2 生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 2 部分：损害调查
3. GB/T 39792.2 生态环境损害鉴定评估技术指南 环境要素 第 2 部分：地表水和沉积物
4. GB/T 25173 水域纳污能力计算规程
5. GB 11607 渔业水质标准
6. HJ 1232 入河（海）排污口三级排查技术指南
7. HJ 710.7 生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类
8. 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
9. HJ 710.12 生物多样性观测技术导则 水生维管植物
10. HJ 710.4 生物多样性观测技术导则 鸟类
11. HJ 1203 自然保护区生态环境保护成效评估标准
12. HJ 1174 全国生态状况调查评估技术规范——生态问题评估
13. HJ 624 外来物种环境风险评估技术导则
14. HJ 1272-2022《生态保护修复成效评估技术指南（试行）》
15. CJ/T 355 小型生活污水处理成套设备
16. CJJ/T 54 污水自然处理工程技术规程
17. CJJ 82 园林绿化工程施工及验收规范
18. DB32/T 3202 湖泊水生态监测规范
19. DB32/T 3258 河湖生态疏浚工程施工技术规范
20. DBJ/T 15-183 城市景观湖泊水生态修复及运维技术规程
21. DB42/T 1771 湖北省河湖健康评估导则
22. DB42/T 1740 退垸（田、渔）还湖技术指南
23. DB32/T 4045 湖滨生态系统构建与稳定维持技术指南
24. DB32/T 4046 城市湖泊水体草型生态系统重构技术指南

25. DB37/T 4332 内陆水域"测水配方"水生态养护技术规范

26. DB37/T 3604 淡水渔业生态环境监测规范

27. DB41/T 1993 山水林田湖草生态保护修复工程监理规范

28. DB41/T 2110 山水林田湖草生态保护修复工程施工技术规范

29. DB4201/T 653 建设工程监理规程

30. DB4201/T 666 城市排水系统溢流污染控制技术规程

31. T/CWDC 24 河湖生态修复工程运行与维护技术导则

32. TD/T 1068 国土空间生态保护修复工程实施方案编制规程

33. TD/T 1069 国土空间生态保护修复工程验收规范

34. T/CSES 27 平原河网区入湖河口前置库技术指南

35. T/CSES 32 受损湖泊修复工程运行与维护技术指南

36. T/CSES 76 城市受损水体生态恢复技术导则

37. T/CSES 77 城市景观水体水质提升技术指南

38. T/CSES 78 湖库蓝藻水华应急控制技术指南

39. JTS 154 防波堤与护岸设计规范

40. SC/T 1101 湖泊渔业生态类型参数

41. SC/T 9102.3 渔业生态环境监测规范第 3 部分：淡水

42. 《江河湖泊生态环境保护系列技术指南》环办〔2014〕111 号

——湖泊生态安全调查与评估技术指南（试行）

——湖泊生态环境保护实施方案编制指南（试行）

——湖泊河流环保疏浚工程技术指南（试行）

——湖滨带生态修复工程技术指南（试行）

——湖泊流域入湖河流河道生态修复技术指南（试行）

——农田面源污染防治技术指南（试行）

43. 《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲和关键环节 第 3 部分：恢复效果评估（征求意见稿）》

44. 《城市水生态修复工程成效评估规程（征求意见稿）》

45. 《山水林田湖草生态保护修复工程验收规程（征求意见稿）》

46. 《国土空间生态保护修复工程成效评估规范（征求意见稿）》

47. 《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》环办水体函〔2021〕558号
48. 《人工湿地水质净化技术指南》环办水体函〔2021〕173号
49. 《突发事件应急预案管理办法》国办发〔2013〕101号
50. 《武汉市湖泊保护总体规划》
51. 《武汉市水生态环境保护“十四五”规划（征求意见稿）》
52. 赵磊,刘永,李玉照等.湖泊生态系统稳态转换理论与驱动因子研究进展. 生态环境学报，2014(10):1697-1707.
53. 合田健等.水环境指标.北京: 中国环境科学出版社，1989.
54. 王海军.长江中下游中小型湖泊预测湖沼学研究[学位论文].武汉: 中国科学院水生生物研究所，2007.
55. Liu X et al., Determining critical light and hydrologic conditions for macrophyte presence in a large shallow lake: The ratio of euphotic depth to water depth. Ecological Indicators, 2016, 71(12):317-326.
56. Wetzel RG. Structure and productivity of aquatic ecosystems. Limnology. Amsterdam:Elsevier,2001:129-150.
57. He et al., Growth and Anchorage of Myriophyllum spicatum L. in Relation to Water Depth and the Content of Organic Matter in Sediment. Front. Environ. Sci., 2021, 9:766413.
58. Barko, John W. and R. Michael. Smart. Sediment-related mechanisms of growth limitation in submersed macrophytes. Ecology,1986, 67: 1328-1340.
59. Silveira, MJ and Sidinei MT. Growth of a native versus an invasive submerged aquatic macrophyte differs in relation to mud and organic matter concentrations in sediment. Aquatic Botany,2015, 124: 85-91.
60. 祝国荣，张萌，王芳侠，高阳，曹特，倪乐意.从生物力学角度诠释富营养化引发的水生植物衰退机理.湖泊科学，2017，29(5):1029-1042。