

ICS 13.020
CCS N772

团 体 标 准

T/ACEF 249—2025

浅水湖泊水生植被保护与修复技术导则

Technical rules for protection and restoration of aquatic vegetation in shallow lakes

2025-12-29 发布

2025-12-29 实施

中华环保联合会 发布

目 次

前 言.....	2
引 言.....	3
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 基本原则.....	3
5 调查评价.....	4
6 水生植物保护.....	6
7 水生植被修复.....	7
8 运行管理.....	11
附 录 A（资料性）浅水湖泊水生植被调查表.....	17
附 录 B（资料性）水生植物定植技术参数表.....	18

前 言

本文件按照 GB/T1.1-2020《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。

本文件由生态环境部环境规划院提出。

本文件由中华环保联合会归口。

本文件起草单位：生态环境部环境规划院¹、中国水利水电科学研究院、中国科学院南京地理与湖泊研究所、中国科学院水生生物研究所、上海同瑞公司、苏州市环境科学研究所、江苏省环境监测中心、北京林业大学、中华环保联合会。

本文件主要起草人：谢阳村、张晶、范宏翔、张霄林、黄蔚、王昌辉、张文静、宗兵年、彭硕佳、郭黎卿、韩旭、金文龙、吕学研、叶维丽、张鹏、刘锦华、朱洪涛、陈天鹏、王琦、黄智华、罗春辉、师雯、王若冰。

¹ 生态环境部环境规划院水生态研究中心、生态环境部环境规划院长江经济带生态环境联合研究中心

引 言

浅水湖泊作为我国重要的淡水生态系统，兼具水质净化、调蓄洪水、生物栖息地供给、气候调节等多重生态功能，其水生植被是维持湖泊生态平衡的核心要素——沉水植被可通过吸收水体氮磷营养盐抑制富营养化，挺水与浮叶植被能拦截陆源污染物、减缓风浪扰动，为鱼类、底栖动物等提供关键栖息环境。然而，近年来受人类活动干扰（如点面源污染输入、围湖造田、过度渔业捕捞）与气候变化影响，我国浅水湖泊水生植被普遍面临退化危机：富营养化导致水体透明度下降，沉水植被分布面积缩减甚至消失；外来入侵物种挤占本土物种生态位，破坏群落多样性；沉积物污染与鱼类过度牧食进一步加剧植被衰退，引发湖泊生态系统“清水态”向“浊水态”转化，严重威胁水资源安全与生态服务功能。为系统性解决上述问题，规范浅水湖泊水生植被保护与修复技术流程，提升工程实施科学性与有效性，保障湖泊生态系统长期稳定，特制定本文件。

文件核心技术内容遵循“问题诊断-方案设计-技术实施-运行管理”的逻辑框架：首先通过“调查评价”章节明确水生植被现状与生态胁迫因子，为保护修复提供科学依据；其次依据“基本原则”确定保护优先级与植被配置方向，确保方案符合自然规律与生态需求；随后通过“水生植被保护”与“水生植被修复”章节，分别针对珍稀濒危物种与退化植被提出针对性技术要求，重点细化沉水、挺水、浮叶植物的定植技术参数；最后通过“运行管理”章节规范收割管理、鱼类调控、藻类防控等长期管护措施，保障修复效果可持续。需要特别说明的是，本文件适用于水深较浅且无温跃层的浅水湖泊，不适用于深水湖泊、水库及河流的水生植被保护与修复工作。

本文件的实施将为我我国浅水湖泊水生植被保护与修复提供统一技术指引，助力解决当前技术实施中“标准不统一、参数不明确、效果难持续”等问题，对推动湖泊生态系统质量提升、保障国家水生态安全具有重要意义。

浅水湖泊水生植被保护与修复技术导则

1 范围

本文件确立了浅水湖泊水生植被保护与修复基本原则，规定了水生植被调查评价、保护、修复和运行管理等内容。

本文件适用于浅水湖泊水生植被保护与修复。

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/T 14581 水质 湖泊和水库采样技术指导

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

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

HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范

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 1296 水生态监测技术指南 湖泊和水库水生生物监测与评价（试行）

SC/T 9455 淡水渔业资源调查规范 湖泊

SL/T 793 河湖健康评估技术导则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

浅水湖泊 shallow lake

平均水深一般不超过 3 米，水体在风力等外力作用下容易混合充分，不存在温跃层的湖泊。

3.2

挺水植物 emergent plant

根系和基部长于水中，而茎、叶等主要光合作用器官挺出水面的水生植物。

3.3

浮叶植物 floating-leaved plant

根系固着于水底，而叶片自然漂浮于水面的水生植物。

3.4

沉水植物 submersed plant

植物体全部或绝大部分沉没于水中、在水下完成生活史的水生植物。

3.5

漂浮植物 free-floating plant

植株完全漂浮在水面上，根部悬浮在水中或退化，整个生活史过程不需要接触沉积物等基质，依靠水流或风力自由移动。

3.6

本土物种 native species

在一个区域内通过自然进化并长期存在的物种，这些物种与当地的其他物种和生境特征通过长期的协同进化，形成较为稳定的生态关系，共同维系着区域的生态平衡和系统稳定性。

3.7

入侵物种 invasive species

被引入到一个非本土分布区域，并在该区域快速繁殖扩散，对本土物种和生态系统造成负面影响的物种。

3.8

繁殖体库 aquatic plant propagule bank

湖泊沉积物中水生植物的各类繁殖体，既包括有性繁殖形成的种子，也涵盖块茎、休眠芽等多种无性繁殖体。

3.9

参照湖泊 reference lake

与目标湖泊处于同一气候区、水文流域或相似自然地理单元,且未受人类活动显著干扰,生态系统结构完整、功能稳定的湖泊。

3.10

点源污染 point source pollution

污染物从可识别的固定排放点排入水体,如管道、排污口等。

3.11

面源污染 nonpoint source pollution

污染物来源于分散、广泛的区域,在降水或融雪冲刷作用下,通过地表径流、土壤侵蚀等过程进入受纳水体。

4 基本原则

4.1 规划导向与布局优化

依据相关规划与区划,结合浅水湖泊的水文水资源特征、开发利用现状及生态问题,分区域、分类型明确水生植被保护与修复重点,在空间分布、重点工程和实施时序等方面进行系统布局。

4.2 生态完整性与目标设定

从维护湖泊生态完整性出发,合理确定保护修复目标,统筹行洪滞洪、景观营造与生物多样性提升等多重需求,增强水体自净能力,提高生态系统质量与稳定性。

4.3 系统调查与驱动因素识别

以生态系统完整性为核心,开展兼具科学性、针对性与可操作性的修复区调查评价,统筹考虑水体和沉积物、水文过程、陆域环境及生物群落的相互关系,重点识别导致植被退化的关键驱动因素。

4.4 保护与修复优先级设定

保护优先级顺序为:珍稀濒危物种生境大于原生植被完整区大于轻度退化区;修复优先级顺序为:重度退化区大于中度退化区大于轻度退化区,形成科学有序的推进路径。

4.5 自然规律遵循与近自然修复

以水生植物生活史与环境适配性为基础,通过物候期匹配与生长条件量化,确保修复活动顺应自然节律。优先选用乡土植物,构建原生型水生植物群落,提升生态系统长期稳定性。

4.6 动态监测与管理优化

定期开展水生态监测评估，加强修复设施的运行管护，推行适应性管理机制，根据反馈不断优化保护与修复策略，实现工程的可持续成效。

5 调查评价

5.1 调查技术

5.1.1 历史资料收集与分析

5.1.1.1 在实施调查前，宜系统收集目标水体的历史资料，建立量化数据库。重点收集与水生植被相关的环境与生物因子数据，包括：

- a) 水文数据系列宜具有一定的代表性与时效性，不宜少于 3 年，主要包括日均水位、换水周期、引排水量等；
- b) 气象数据系列宜具有一定的代表性与时效性，不宜少于 3 年，主要包括日均降雨量、气温、风向等；
- c) 水环境数据系列宜具有一定的代表性与时效性，不宜少于 3 年，主要包括常规水质参数；
- d) 水生生物数据系列具有一定的代表性与时效性，不宜少于 3 年，主要包括水生植被、底栖动物和鱼类等。

5.1.1.2 应对所收集数据进行比对分析，评估水质状况与生态状态，识别主要环境胁迫因素。若历史资料不完整，可开展不少于 2 年的连续监测以补充数据基础。

5.1.2 调查方案制定

应根据调查区域形态特征、水文条件及调查目的制定科学合理的调查方案。常规调查属于抽样调查，样点与样线布设应具有代表性，可参照 HJ 710.12 执行。调查方案确定后，应准备相应的调查设备、工具并明确各项指标的调查方法。各项指标的调查宜参照下列行业标准或技术指南执行：

- a) 水环境和沉积物调查可参照 GB/T 14581、HJ/T 91 等规范要求；
- b) 水生植被调查可参照 HJ 710.12、《全国淡水生物物种资源调查技术规定》等规范要求。关键指标可参考但不限于附录 A；
- c) 鱼类与底栖动物调查可参照《全国淡水生物物种资源调查技术规定》、HJ 1296、HJ

710.8、SC/T 9455 等规范要求。

5.1.3 调查实施

调查工作应包括现场外业与室内分析两部分。外业可依据调查方案制定合理路线，规范开展现场指标测定与样品采集保存；室内分析应包括水体样品的指标测定与生物样品的鉴定分析，鉴定分析工作应由具备相关专业背景的人员完成。

5.2 评价技术

5.2.1 水生植被物种多样性评价

重点对水生植被的物种多样性与空间分布进行评价。物种多样性评价涵盖 α 多样性、 β 多样性和 Pielou 多样性等三类指标：

- a) α 多样性用于表征群落内物种丰富程度，可采用物种丰富度、Simpson 指数、Shannon-Wiener 指数和均匀度指数进行评估；
- b) β 多样性用于反映沿环境梯度变化的物种更替程度，可采用种类相似性指数进行评估。
- c) Pielou 指数是群落生态学中用来衡量“物种个体数分布均匀程度”的指标。
- d) 此外，物种多样性评价还建议包括对珍稀濒危水生植物及入侵水生植物的专项评估。

5.2.2 水生植被分布特征评价

植被分布特征评价可采用以下三项指标：（1）覆盖度：全湖水生植被的覆盖比例；（2）现存量：全湖水生植被在一年中的最大生物量；（3）繁殖体库：沉积物中可萌发的水生植物密度与物种组成。植被覆盖度与现存量调查可参照《生物多样性观测技术导则 水生维管植物》（HJ 710.12）执行。繁殖体库调查宜采用柱状沉积物采样器采集沉积物样品，每个样点设置 3 个以上的平行样，通过室内萌发实验测定繁殖体密度。

5.2.3 生态系统状态评价

5.2.3.1 生态系统状态评价方法

生态系统状态评价可参照 SL/T 793 对生境与水生物进行分项评价。

5.2.3.2 生态退化程度评估

5.2.3.2.1 本文件以同区域、同类型参照湖泊的原始或稳定健康生态状态为基准，选取湖泊水文情势、水质理化指标、水生生物群落结构、湖滨带生态完整性等核心指标，构建湖泊生态

T/ACEF 249—2025
退化程度评估指标体系。

5.2.3.2.2 通过对比现状湖泊各指标实测值与参照湖泊基准值的差异程度，结合指标权重与综合评分模型，将湖泊生态退化程度划分为理想状况、健康、亚健康、不健康、病态五个等级，可参照 SL/T 793 执行。

5.2.3.3 胁迫因子诊断方法

5.2.3.3.1 根据湖泊生态系统状态问题与生态退化程度评估结果，宜按以下步骤诊断导致生态系统退化的胁迫因子：

- a) 通过相关性分析识别水质指标与水生植被覆盖度的关联程度，将系数 R^2 大于 0.5 的指标判定为影响水生植被覆盖度的主要驱动因子；
- b) 结合人类活动调查，判定胁迫因子类型（点源/面源/生物干扰）；
- c) 采用多元统计方法量化各胁迫因子贡献度，贡献度大于 30% 判定为关键胁迫因子。

5.2.3.3.2 具体分析方法与流程可参考《湖滨带生态修复工程技术指南》、GB/T 39791.2 和 GB/T 39792.2。

6 水生植被保护

6.1 珍稀濒危水生植物保护

6.1.1 保护对象范围

应以《中国植物红皮书》和《中国珍稀濒危植物图鉴》收录的水生植物为基本保护范围，在各项调查监测和水生植被修复工程中，宜对发现的珍稀濒危水生植物实施重点保护。

6.1.2 原地保护

6.1.2.1 对种群规模稳定、生境状态良好的珍稀濒危水生植物种群，应优先实施原地保护，并采取有效措施降低人类活动干扰。

6.1.2.2 对种群规模较好但生境已受损的种群，宜实施原地保护，隔绝人类活动干扰、降低动物摄食压力，并构建应对污染负荷冲击的缓冲体系。

6.1.3 迁地保护

对种群规模小且生境严重受损的物种，应实施以迁地保护为主的措施，将现存健康个体尽可能转移至邻近适宜的保护地。迁入地应选择与原生境相似度高、距离较近、人类干扰小的区域，并建立长期监测机制，持续评估受保护物种种群的恢复状态。

6.1.4 原地与迁地保护结合

对种群规模较小但生境状态尚好的珍稀濒危物种,应采取原地保护与迁地保护相结合的方式。在原地实施管护的同时,宜采集部分生长良好的个体,及时转移至植物园、种质资源圃等专业保护机构进行人工保育。

6.1.5 人类活动干扰隔绝措施

可结合实际条件采取以下一种或多种措施降低人类活动对珍稀濒危水生植物的干扰:

- a) **物理隔离:** 可在保护区域外围设置防护网、生态浮栏或警示标识,限制船只通行、捕捞和人员靠近;
- b) **生态缓冲带建设:** 在陆域—水域交错带构建草本—灌木复合植被带,宽度不宜小于20米,以阻隔面源污染并减少人为扰动;
- c) **活动管控:** 协调相关部门,对保护区域实施季节性禁航、限速或限行管理,严禁非法捕捞和水边开发行为;
- d) **生态替代:** 在人类活动频繁区域,通过设立替代性休闲区或观光路径,引导公众活动远离珍稀植物分布核心区;
- e) **智能监控:** 在关键保护区域布设视频监控或无人机巡护系统,实现实时监测与预警管理。

6.2 常见水生植物保护

6.2.1 植被面积维护

应结合生境改善与植被修复工程,逐步恢复和维持湖泊水生植被总面积处于合理区间,浅水湖泊水生植被覆盖面积宜大于湖泊总面积的30%,其中沉水植被占比不低于60%,以维持健康的水生生态系统结构,确保其发挥水质净化、栖息地提供等关键生态功能。

6.2.2 群落多样性构建

在水生植被修复过程中,应注重提高植物群落多样性。应通过科学配置不同生态位及生活史特征的物种,构建结构复杂、功能互补的植物群落,增强系统稳定性与生态功能持续性。

6.2.3 繁殖体库保育与强化

可在重点区域或繁殖体匮乏区,通过人工投放种子、块茎、休眠芽等繁殖体,有效增加沉积物中水生植物繁殖体的储量与物种多样性,增强水生植被的自然更新与长期自我维持能力。

7 水生植被修复

7.1 修复目标

7.1.1 总体目标

湖泊水生植被修复的总体目标是构建面积适宜、物种多样、结构稳定、功能优化的水生植被群落，持续发挥水质净化、栖息地供给等关键生态功能，促进湖泊生态系统健康与良性发展。修复后的水生植被应具备自我维持与自然扩繁能力，保障湖泊生态服务功能的长期稳定发挥。

7.1.2 目标制定原则

应根据目标水域的功能定位、生态系统退化程度及实施季节等因素，科学制定阶段性目标与长期目标，明确各时期植被覆盖、群落结构及生态功能等方面的具体指标。

7.1.3 挺水植被修复目标

挺水植被修复以拦截陆源污染物与悬浮颗粒物、减缓风浪侵蚀、稳固岸带为主要目标，构建有效的地表径流拦截带。同时兼顾景观美化功能，并为水生动物提供栖息与庇护场所。

7.1.4 浮叶植被修复目标

浮叶植被修复宜通过在近岸浅水区建立片状或条带状群落，增强区域景观效果，形成天然消浪带，降低风浪扰动，改善水体物理稳定性，并提高水生植物群落的物种与结构多样性。

7.1.5 沉水植被修复目标

沉水植被修复重点在于构建具有一定覆盖度的水下森林，持续发挥清水效应，提升水体透明度，增强生态系统生物多样性、弹性与稳定性，逐步恢复并维持区域的清水状态。

7.2 修复前置条件与生境改善

7.2.1 外源污染控制

7.2.1.1 点源污染控制

点源污染控制可采用以下方法：

- a) 入湖河流依据湖泊水环境容量、生态水位需求及河流水文特征，制定并实施流量与水质目标双控管理方案。
- b) 入湖排污口优先采用雨污分流、截污纳管等措施，将污水纳入城市污水管网系统处理。处理后尾水应经表面流湿地、坑塘或支浜等生态净化系统深度处理，湿地类型宜优先选用自然湿地。
- c) 对达标排放后湖泊水质仍不满足功能要求的，在污染迁移路径中构建“源头削减-过

程拦截-末端净化”的生态强化处理体系，在源头区、河道输移带及入湖口分段布设生态拦截系统、河岸缓冲带与人工湿地等组合措施。

7.2.1.2 面源污染控制

面源污染控制可采用以下方法：

- a) 农业面源污染防治实施源头控制与过程拦截。源头控制包括测土配方施肥、生态田埂等水土保持措施；过程处理可采用生态沟渠、坑塘和湿地系统。
- b) 城市面源污染防治结合海绵城市理念，采用低影响开发设施截留与净化雨水径流污染。

7.2.1.3 生态净化技术选型

生态净化技术应与周边空间条件及污染特征相匹配。高污染负荷区宜选用潜流湿地，低污染径流宜配置表面流湿地，农田面源区宜建设生态沟渠系统，防洪敏感区域优先采用具有调蓄功能的复合湿地系统。

7.2.2 沉积物修复

7.2.2.1 修复范围确定

当污染沉积物对水质或水生生物造成显著不利影响时，实施内源污染治理。可通过计算沉积物污染物释放通量，结合水环境治理目标所需削减的通量比例，科学确定修复范围并设计针对性方案。

7.2.2.2 环保疏浚

污染严重、污染层较厚的区域可采用环保疏浚，疏浚深度不宜超过 0.5 米，避免破坏底栖生境。疏浚后沉积物有机质含量通常不大于 20 g/kg。

7.2.2.3 原位生态修复

适用于轻度至中度污染沉积物，具体包括：

- a) 物理化学措施：沉积物覆盖、氧化、钝化等。总磷含量低于 1.5 g/kg 时可采用钙盐钝化技术，投加量为 50–100 g/m²。
- b) 生物措施：可使用微生物制剂等进行修复。
- c) 技术使用前建议进行小试确定投加量，遵循少量多次原则，避免二次污染。

7.2.3 水下光场改善

T/ACEF 249—2025

水下光照条件是沉水植物光合作用、幼苗定植及种群扩张的关键限制因子，水质改善目标为使水体透明度达到种植区水深的 50%以上，以满足沉水植物定植与生长需求。为保障沉水植物正常生长需求，针对水体透明度不足的区域，可采取设置围隔或调节水位等措施改善水下光照。

7.2.4 鱼类群落调控

适度控制鱼类生物量，重点降低草食性、杂食性及底栖鱼类比例。总鱼类生物量宜控制在 50–100 kg/ha，其中草食性鱼类占宜小于 10%，杂食性鱼类占宜小于 20%；鱼群结构亦可对照参照湖泊做优化调控。

7.3 水生植物群落配置

7.3.1 群落结构设计

为构建结构完整、层级分明且生态功能高效的水生植物群落，应遵循以下设计要求：

- a) 以本地原生植物群落结构为参照，以地带性优势种为建群种，选用适应性强、生态功能良好的物种，构建高效稳定的植物群落。
- b) 沿水位梯度依次配置挺水、漂浮、浮叶和沉水植物群落，形成带状或同心圆式分布系列，发挥协同净化功能。沉水植物为群落构建重点。

7.3.2 物种搭配要求

为保障群落内物种间的生态位互补与系统稳定性，物种搭配应满足以下要求：

- a) 结合系统功能与植物生物学特性，进行深根与浅根、丛生与散生、常绿与季节性植物的有机搭配。
- b) 避免单一物种配置，保障群落功能持续稳定。
- c) 考虑空间生境梯度，结合物理防护措施布设多条水生植物带。

7.4 水生植被定植技术

7.4.1 技术比选

定植技术选择建议结合生境特征与修复目标，如景观构建注重株型搭配，水质净化侧重高吸附物种，明确不同生活型植物的适配技术。关键指标可参考但不限于附录 B。

7.4.2 挺水植物定植

挺水植物定植的生境条件要求：适宜水深 0.2–0.5 米，沉积物为自然壤土。定植前需清除直径大于 5 厘米的石块、杂草根茎及垃圾，平整沉积物。砂质沉积物（砂粒占比大于 70%）

需铺设 5–8 厘米厚种植土。挺水植物定植可采用以下方法，具体适配物种及操作参数如下：

- a) 直接扦插：适用于芦苇、水烛，深度 15–20 厘米。
- b) 叉子种植：适用于鸢尾、菖蒲，根茎插入沉积物 10–15 厘米。
- c) 根茎埋植：适用于莲，埋深 8–12 厘米，芽眼朝上。

7.4.3 浮叶植物定植

浮游植物定植的生境条件要求：适宜水深 0.5–2.0 米，沉积物为自然湖泥，有机质宜小于 10%。浮叶植物定植可采用以下方法，具体适配物种及操作参数如下：

- a) 扦插法：适用于睡莲，包含 2–3 个完整节间。
- b) 配重抛投：适用于苕菜，包裹根茎配重 50–100 克。
- c) 容器种植：适用于景观植物，容器建议直径不大于 20 厘米、高 15 厘米。
- d) 繁殖体播撒：适用于菱，密度建议大于 5 粒/m²。

7.4.4 沉水植物定植

沉水植物定植的生境条件要求：优先选择风浪强度不大于 3 级水域，避开下风口污染堆积区及排口下游 100 米范围。沉积物以黏土为宜，黏粒占比 40%–60%，厚度不小于 10 厘米，有机质含量宜为 25 g/kg 左右。定植初期，为保障成活率，种植区水深宜小于水体透明度的 2 倍；待植被稳定后，可逐步适应其生物学适宜水深范围。沉水植物定植可采用以下方法，具体适配物种及操作参数如下：

- a) 扦插法：水深 1–1.5 米时借助竹竿固定，植株绑定后插入沉积物 10–15 厘米。
- b) 抛投法：硬质底直接抛投，密度 30 株/m²；软质底可捆绑配重（100–150 克陶粒）或包裹根系后抛投，以增强稳定性。

8 运行管理

8.1 水生植被收割管理

8.1.1 收割目标

科学收割旨在有效移除水体营养盐，调控植物群落结构，防止过度繁殖，维持生态平衡，增强系统稳定性。

8.1.2 收割频次

收割频次需结合湖泊营养盐收支状况、植物生活型和植物长势综合确定，具体要求如下：

T/ACEF 249—2025

- a) **挺水植物**：当湖泊营养盐输入量大于输出量时，每年收割 1 次，宜在秋冬季植株枯黄率超过 80% 时开展全面收割；当湖泊营养输入量小于输出量时，可酌情降低收割频次或不进行收割。
- b) **浮叶植物**：当湖泊营养输入量大于输出量时，每年收割 1 次，宜在秋冬季叶片老化率超过 80% 时实施收割；当湖泊营养输入量小于输出量时，可根据植物生长态势减少收割范围或不收割。若夏季植物覆盖度过高，可针对性开展夏季局部收割。
- c) **沉水植物**：当湖泊营养输入量大于输出量时，每年收割 1 次，宜在秋冬季叶片老化率超过 80% 时完成收割；当湖泊营养输入量小于输出量时，可结合生态监测结果酌情缩减收割规模或暂停收割。若夏季植物覆盖度过高，可针对性开展夏季局部收割。

8.1.3 挺水植物收割

为保障挺水植物收割后根系的再生能力与群落结构稳定性，具体操作要求如下：

- a) 收割位置宜控制在水面上 20–30 厘米，保留地下根系，避免损伤基部芽点。
- b) 单次收割面积不宜超过种群总面积的 70%，以维持群落再生能力。

8.1.4 浮叶植物收割

针对浮叶植物易过度覆盖水域、影响水体交换与光照穿透的特点，收割操作应遵循以下规范：

- a) 当覆盖度超过水域面积的 90% 时启动收割，单次减少种群面积约 30%，并保留 5–10 米宽的生态缓冲带。
- b) 优先清除老化叶片，保留健康叶片比例不低于 50%，维持植物正常发育。

8.1.5 沉水植物收割

结合沉水植物生物量与生长特性，兼顾营养盐移除效率与群落恢复潜力，收割作业应满足以下要求：

- a) 每年夏季调查生物量与覆盖率，当生物量超过 5 kg/m^2 ，确定 30%–40% 的收割比例。
- b) 宜在秋冬季采用水下机械收割，切割深度距沉积物大于 0.5 米，避免损伤根系。
- c) 单次收割区域不宜超过总分布区的 50%。

8.1.6 日常巡查与断枝利用

为减少植物残体分解对水体造成二次污染，并充分利用健康断枝促进群落自然扩张，应落实以下管理措施：

- a) 每十天巡查水体，及时打捞枯黄残体与断枝，衰败期频率调整为 1-2 次/周，防止残体堆积超过 500 g/m²。
- b) 沉水植物健康断枝，长度不小于 20 厘米的断枝可投放至透明度较高水域，促进群落自然扩散。

8.1.7 收割产物处置

收割产物优先采用堆肥处理，建议混合 20% 秸秆调节碳氮比，堆肥周期 30-45 天，严禁随意丢弃造成二次污染。

8.2 繁殖体库补充

为维持修复区水生植物群落的长期稳定与自然更新能力，及时补充繁殖体库、保障物种延续性，宜落实以下繁殖体库补充措施：

- a) 宜在冬季和早春季节，以沉水植物为主，适当补充修复区水生植物繁殖体。
- b) 补充宜选择无风无浪天气，通过抛洒方式使繁殖体迅速沉降于沉积物。
- c) 有条件的地区可建设水生植物种苗繁育场，系统收集与培育各类水生植物繁殖体。

8.3 植物补充种植

针对修复后水生植被易受环境扰动出现面积缩减、生物量下降的问题，为巩固生态修复成效，宜落实以下补充种植措施：

- a) 修复后水生植被可能因多种因素出现面积或生物量损失，需在运行维护期间及时开展补充种植。
- b) 在持续跟踪监测基础上，对受损严重区域进行补种，保障种群密度与规模。

8.4 鱼类群落调控

8.4.1 调控原则

运行维护阶段需定期调控鱼类群落，重点控制草食性与杂食性鱼类种群，降低其牧食与生态扰动影响。

8.4.2 目标设定

调控前应调查鱼类密度与组成，结合植被生长需求设定目标：

- a) 草食性鱼类密度大于 5 个/100 m²或杂食性鱼类密度大于 10 个/100 m²时，启动针对性调控；

T/ACEF 249—2025

- b) 草食性鱼类密度不超过 3 个/100 m²且杂食性鱼类密度不超过 8 个/100 m²时，每季度跟踪监测，暂不主动调控。

8.4.3 调控方式

为调控鱼类对水生植被的摄食压力，结合水域鱼类密度与政策要求，应实施以下差异化调控措施，同时可根据实际情况拓展其他有效手段：

- a) **挂网捕捞**：适用于鱼类密度较低（总密度小于 15 个/100 m²）且政策允许水域。
- 3–6 月（植被萌发期）使用网目 3–5 厘米单层挂网，每周收网 1 次，单次不超过 48 小时；
 - 9–12 月（植被稳定期）使用网目 6–8 厘米双层挂网，每周 1 次，重点清除体长大于 30 厘米的草食性鱼类。
- b) **拖网驱赶**：适用于无法挂网或鱼类密度较高（总密度不小于 20 个/100 m²）水体。
- 使用网目 8–10 厘米、网高 1.5–2 米无囊拖网，每月 2–3 次，每次作业范围不超过恢复区总面积的 50%。

8.4.4 生物调控

为构建良性生态食物链，可实施以下生物调控手段：

- a) 每年 4–5 月可根据植被盖度与鱼类密度，适当投放鳊鱼、鲈鱼等肉食性鱼类。鱼规格建议为 10–15 厘米，密度 2–3 个/100 m²。
- b) 投放后每月监测草食性鱼类密度，低于 3 个/100 m²时停止投放。

8.4.5 效果评估

调控后水生植被牧食损伤率不超过 10%，水体透明度提升不低于 20%视为达标。

8.5 藻类防控

8.5.1 防控对象

需对浮游藻类和附着藻类实施定期防控，避免影响沉水植物光合作用。

8.5.2 浮游藻类防控

藻类过度繁殖会制约水生植物的生长发育。为保障水生植物群落稳定，可针对性实施藻类防控措施，具体要求如下：

- a) 每季度在藻类易发区布设生态浮床，覆盖率控制在水域面积的 10%–15%，搭配投放

枝角类等滤食性浮游动物（密度 50–100 个/L）。

b) 藻类集中暴发（叶绿素 a 大于 20 $\mu\text{g/L}$ ）时，可短期使用复合微生物菌剂（用量 1 kg/100 m^2 ~2 kg/100 m^2 ）抑制藻类繁殖。

8.5.3 附着藻类防控

每月巡查沉水植物，叶片附着藻类覆盖率大于 30%时，投放环棱螺等底栖螺类（密度 3–5 个/ m^2 ）。每季度监测螺类存活率，低于 60%时及时补投。

8.5.4 丝状藻类防控

可通过搭配投放河蚌、鳊鱼，与沉水植物共同构建互利共生的生态体系，借助物种间的相互作用改善水质，从而间接抑制丝状藻类生长。

8.6 入侵物种防控

8.6.1 清除与监测

定期打捞外来物种，可与植物断枝打捞同步进行。对列入《中国外来入侵物种名单》的物种实施高强度清除。清除后需进行 3 年跟踪监测，确认无再生后方可终止防控。

8.6.2 外来物种控制

对入侵危害等级尚未明确的外来物种，实施种群规模控制。修复中优先使用乡土物种，严禁使用入侵种。引进种苗需严格质检，定期调查种苗产地，防范外来物种引入。

8.7 监测

8.7.1 常规监测

常规监测需结合修复阶段目标，差异化设置监测频次与核心指标，形成完整的修复成效跟踪链条，具体要求如下：

a) **修复初期（1–6 个月）**：每月 1 次，重点聚焦植被定植成活与生境基础条件改善情况。核心监测指标包括：植株存活率，目标值为 80%；群落覆盖度：采用样方法或遥感影像解译法，监测植被覆盖面积占修复区总面积的比例，跟踪群落扩张趋势。

b) **修复中期（7–24 个月）**：每 2 个月 1 次。监测重点从“成活保障”转向“群落结构优化”。在延续初期核心指标监测的基础上，新增水生植物物种多样性指数、优势种占比、草食性鱼类密度等指标，评估群落稳定性与生物互作关系。

c) **修复后期（25–36 个月）**：每季度 1 次，重点评估生态系统的自我维持能力与稳定性。监测指标拓展至营养盐收支平衡状况、水生植被与藻类竞争关系、湖滨带生态完整性等，

形成修复成效综合评估报告，为后续运维方案制定提供依据。

8.7.2 应急监测

针对暴雨、高温、台风洪涝等极端天气可能引发的生境突变、植被受损等问题，启动应急监测响应机制，具体操作规范如下：

- a) **暴雨后应急监测：**降雨结束后 24 小时内开展监测，核心指标为水体浊度与营养盐浓度。若浊度超过 50NTU，需立即在修复区进水口布设临时沉淀池或生态拦截带，拦截泥沙与外源污染物；若营养盐浓度骤升超过背景值 1.5 倍，需同步强化微生物菌剂投放，降低水体富营养化风险。
- b) **高温后应急监测：**高温连续 7 天日均温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的极端高温天气后，72 小时内开展植被健康状况调查，核心指标为叶片枯萎率。若叶片枯萎率超过 15%，需及时采取补水降温措施，
- c) **台风、洪涝后应急监测：**台风、洪涝后立即核查植株倒伏情况，倒伏率超过 20% 的区域需及时扶正与补植。
- d) **应急处置与方案调整：**关键指标连续 2 次不达标时，应分析问题成因并调整修复方案，包括优化物种搭配、调整水位调控周期、强化生物防控力度等，确保生态系统稳定向好。

附录 B

(资料性)

水生植物定植技术参数表见表 B.1

表 B.1 水生植物定植技术参数表

生活型	中文名	拉丁名	生活史	耐寒性	适宜水深 (m)	沉积物要求	种植密度 (株/m ²)	种植方式
挺水植物	芦苇	<i>Phragmites australis</i>	多年生	强	0-0.6	对土壤要求不严	10-15	根状茎扦插
挺水植物	香蒲	<i>Typha orientalis</i>	多年生	强	0-1.0	对土壤要求不严	5-10	分株、扦插
挺水植物	水葱	<i>Scirpus validus</i>	多年生	中	0-0.4	淤泥、砂壤土	10-25	根状茎扦插
挺水植物	黄菖蒲	<i>Iris pseudacorus</i>	多年生	强	0-0.5	砂壤土、粘土	1-16	分株、扦插
挺水植物	慈菇	<i>Sagittaria trifolia</i>	多年生	中	0-0.4	淤泥、壤土	15-25	根状茎扦插
挺水植物	莲	<i>Nelumbo nucifera</i>	多年生	中	0.1-1.5	淤泥、粘土	1-2	根状茎、播种
挺水植物	千屈菜	<i>Lythrum salicaria</i>	多年生	中	0-0.6	砂壤土、粘土	10	扦插、分株
挺水植物	水烛	<i>Typha angustifolia</i>	多年生	强	0-0.8	淤泥、粘土	5-10	分株、扦插
挺水植物	水莎草	<i>Cyperus alternifolius</i>	多年生	中	0-0.3	砂壤土、粘土	10-20	分株、扦插
挺水植物	水芹	<i>Oenanthe javanica</i>	多年生	中	0-0.3	淤泥、壤土	15-25	扦插、播种
挺水植物	水蓼	<i>Polygonum hydropiper</i>	一年生	弱	0-0.2	淤泥、砂壤土	20-30	播种、扦插
浮叶植物	睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	多年生	中	0.5-1.5	淤泥、粘土	1-2	根状茎、分株
浮叶植物	荇菜	<i>Nymphoides peltatum</i>	多年生	中	0.3-1.5	淤泥、砂壤土	5-10	扦插、分株
浮叶植物	菱	<i>Trapa natans</i>	一年生	中	0.5-2.0	淤泥、粘土	5-10	播种、移栽
浮叶植物	芡	<i>Euryale ferox</i>	多年生	中	0.3-1.5	淤泥、粘土	1-2	播种、移栽
浮叶植物	水鳖	<i>Hydrocharis dubia</i>	多年生	中	0.2-1.0	淤泥、砂壤土	5-10	分株、扦插
浮叶植物	水龙	<i>Ludwigia peploides</i>	多年生	中	0.1-0.8	淤泥、砂壤土	10-20	扦插、分株

生活型	中文名	拉丁名	生活史	耐寒性	适宜水深 (m)	沉积物要求	种植密度 (株/m ²)	种植方式
浮叶植物	水禾	<i>Hygroryza aristata</i>	一年生	弱	0.1–0.5	淤泥、砂壤土	10–20	播种、扦插
沉水植物	苦草	<i>Vallisneria natans</i>	多年生	强	0.5–2.5	淤泥、砂壤土	15–30	扦插、泥球
沉水植物	金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	多年生	强	0.5–2.0	对土壤要求不严	20–40	断枝、扦插
沉水植物	黑藻	<i>Hydrilla verticillata</i>	多年生	强	0.5–2.5	淤泥、砂壤土	15–25	断枝、芽孢
沉水植物	微齿眼子菜	<i>Potamogeton maackianus</i>	多年生	强	1.0–4.0	淤泥、砂壤土	15–25	断枝、扦插
沉水植物	篦齿眼子菜	<i>Potamogeton pectinatus</i>	多年生	强	1.0–3.0	淤泥、砂壤土	15–25	断枝、扦插
沉水植物	竹叶眼子菜	<i>Potamogeton wrightii</i>	多年生	强	0.5–2.5	淤泥、砂壤土	10–20	断枝、扦插