

ICS 13.020.40
CCS Z05

团 体 标 准

T/HSES 0005-2025

湖泊生态修复治理技术规范

Specification for ecological restoration and management of lakes

2025-5-22 发布

2025-5-22 实施

湖南省环境科学学会 发布

目 次

前 言	II
1 范围	- 1 -
2 规范性引用文件	- 1 -
3 术语和定义	- 2 -
4 基本原则	- 3 -
4.1 遵循自然	- 3 -
4.2 污染控制	- 3 -
4.3 系统治理	- 3 -
4.4 长效机制	- 3 -
5 修复调查与问题诊断	- 3 -
5.1 一般要求	- 3 -
5.2 调查目标	- 3 -
5.3 调查内容	- 3 -
5.4 问题诊断	- 4 -
6 总体思路	- 4 -
7 系统治理	- 5 -
7.1 控源截污	- 5 -
7.2 底质生境修复与水质净化	- 8 -
7.3 生态水位控制及水文动力调控	- 9 -
7.4 生物多样性恢复	- 10 -
7.5 分区修复治理	- 12 -
8 效果评估	- 15 -
8.1 治理目标	- 15 -
8.2 评估程序	- 15 -
8.3 评估内容	- 15 -
9 管理运维	- 16 -
9.1 日常安全保障	- 16 -
9.2 生态产品价值实现	- 17 -
参 考 文 献	- 18 -

前 言

本文件按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。

本文件由湖南省环境科学学会提出并归口。

本文件起草单位：水利部河湖保护中心、中国科学院亚热带农业生态研究所、长江水利委员会河湖保护与建设运行安全中心、中国科学院水生生物研究所、中国科学院南京地理与湖泊研究所、长沙环保职业技术学院、湖南省环境科学研究院、中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司、山东公用环保科技集团有限公司、北京中环农科生态农业研究院有限公司、北京中环格亿技术咨询有限公司、中材地质工程勘查研究院有限公司、北京碧潺潺生态科技有限公司、江苏蓝联环境科技有限公司。

本文件主要起草人：印遇龙、杨国华、岳松涛、谢永宏、黄凤莲、刘海、刘剑彤、徐力刚、罗岳平、徐会显、刘洪莲、李峰、邓正苗、朱鸿毅、安祥华、楚凯锋、张毅、吴辰熙、赵媛媛、俞立红、邹志国、印光、李旭、李喆、隋国舜、李强、侯志勇、熊雄、范宏翔、程俊翔、蒋名亮、王晓龙、李相虎、李云良、林晨、陈玺如、赵宇婷、张颢、汪海斌、陈明聪、李义晋、徐彦昭、董磊。

本文件的某些内容可能涉及知识产权。本文件的发布机构不承担识别这些知识产权的责任。

本文件为首次发布。

湖泊生态修复治理技术规范

1 范围

本文件规定了湖泊生态修复治理的基本原则、修复调查与问题诊断、系统治理、效果评估、管理运维等方面的技术要求。

本文件适用于自然或人工形成的湖泊（包括“水库”）的生态修复治理。

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 5084 农田灌溉水质标准
- GB 11607 渔业水质标准
- GB 15618 土壤环境质量 农用地土壤污染风险管控标准
- GB 38400 肥料中有毒有害物质的限量要求
- GB 50014 室外排水设计标准
- GB 50286 堤防工程设计规范
- GB 50707 河道整治设计规范
- GB/T 14581 水质 湖泊和水库采样技术指导
- GB/T 18920 城市污水再生利用标准
- GB/T 25246 畜禽粪便还田技术规范
- GB/T 36195 畜禽粪便无害化处理技术规范
- GB/T 37066 农村生活垃圾处理导则
- GB/T 37071 农村生活污水处理导则
- GB/T 51347 农村生活污水处理工程技术标准
- CJJ/T 54 污水自然处理工程技术规程
- HJ 497 畜禽养殖业污染治理工程技术规范
- HJ 2005 人工湿地污水处理工程技术规范

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）
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
JTS 154 防波堤与护岸设计规范
NY/T 525 有机肥标准
SL 17 疏浚与吹填工程技术规范
SL 219 水环境监测规范
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 712 河湖生态环境需水计算规范
建标148 小城镇污水处理工程项目建设标准
建标 198 城市污水处理工程项目建设标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 原位修复 in situ remediation

指在不移除底泥，通过物理和/或生物等方法，降低底泥中污染物浓度或阻隔其释放，从而达到维护底泥生态系统、提升水体自净能力的目的。原位修复与控源技术组合，具有效果好、避免破坏水底生态系统、持续性长的特点。

3.2 生态水位控制 ecological water Level guarantee

通过科学合理的措施和方法，确保湖泊等生态系统中的水位保持在能够维持其结构和功能所需的范围内，以此保护和恢复水生态系统。

3.3 湖滨缓冲区 lakeshore and buffer zone

为保护湖泊生态系统而在湖泊周边设立的一定范围的保护区域，具有涵养水源、维护生物多样性、净化入湖径流面源污染、防止水土流失等功能，是湖泊生态系统中重要生态功能区。包括湖滨带和缓冲带。

3.4 生态产品 ecosystem product

指由自然生态系统提供的产品和服务，可分为物质供给类、调节服务类和文化服务类。

[来源：国家“十四五”规划《纲要》国家名词解释之 174]

4 基本原则

4.1 遵循自然

修复治理工作应遵循生态系统的自然演替规律，采用自然恢复为主、人工修复为辅的治理模式，并与社会经济发展相适应。

4.2 污染控制

在实施湖泊生态修复治理之前，应首先控制入湖的污染物负荷，减少污染物的输入。

4.3 系统治理

考虑湖泊各功能区的相互作用以及物理、化学和生物要素之间的联系，实施系统性的整体修复。湖泊生态修复治理应与流域内的其他生态修复工程相协调，确保整个流域的生态健康。

4.4 长效机制

在湖泊治理规划和建设过程中考虑后期管理运营的便利性和生态产品价值实现途径，建立管护、运营及治理的长效机制。

5 修复调查与问题诊断

5.1 一般要求

5.1.1 调查应在充分收集历史资料的基础上开展。

5.1.2 调查的时间、空间精度应与不同修复治理设计阶段深度相匹配。

5.2 调查目标

调查湖泊基本情况，评估受损状况，诊断主要问题，分析生态状态，评估湖泊受损程度，诊断受损区域和受损要素。

5.3 调查内容

5.3.1 调查内容主要包括流域主要产业、周边污染源、入湖排污口、湖泊主要功能，气象、水文、湖盆形态、基底性状、主要水利工程、重大治理措施等基本情况，主要水质指标，主要水生生物及分布情况，并分析湖泊基本现状、生态退化前的基本情况、主要胁迫因素及公众修复意愿。

5.3.2 调查应包含湖泊生境调查和水生生物调查：

- a) 湖泊生境调查：
 - 1) 物理生境调查：包括湖泊岸线与基底、水量与水位、保护地等；
 - 2) 化学生境调查：包括水质类别、营养指标、耗氧物质、有毒有害物质污染程度及底质性状等。
- b) 水生生物调查：藻类水华及浮游植物、浮游动物、水生维管植物、底栖动物、鱼类、水鸟，入侵种、本土物种、珍稀濒危物种等。

5.3.3 底泥调查取样、分析应按 SL 219 的规定执行。

5.3.4 调查方法应符合 GB/T 14581、HJ 710.7、HJ 710.8、HJ 710.12 的相关要求。

5.3.5 详查应同时开展生态胁迫因素调查，主要包括：

- a) 物理生境受损胁迫：包括生态空间受到侵占或破坏、水文节律失调、江湖阻隔、水资源减少、水体萎缩/干化或咸化、淤积及湖容减小等；
- b) 富营养化胁迫：包括氮、磷等富营养化物质对水体造成的影响；
- c) 水污染胁迫：包括耗氧物质、有毒有害物质对水体造成的影响；生物群落受干扰胁迫：包括渔业过度利用、外来物种入侵等。

5.4 问题诊断

根据调查结果，综合评估湖泊整体健康状况，判定导致水质下降、生境受损、生态功能退化的污染源、关键因素和生态胁迫因子，作为湖泊水生态系统保护修复治理的依据。

6 总体思路

坚持以污染源头管控，自然恢复为主、人工修复为辅的系统治理，建立湖泊水环境治理与关联产业“治理-反哺-提升”螺旋式双向增值反哺的长效机制。技术路线见图1

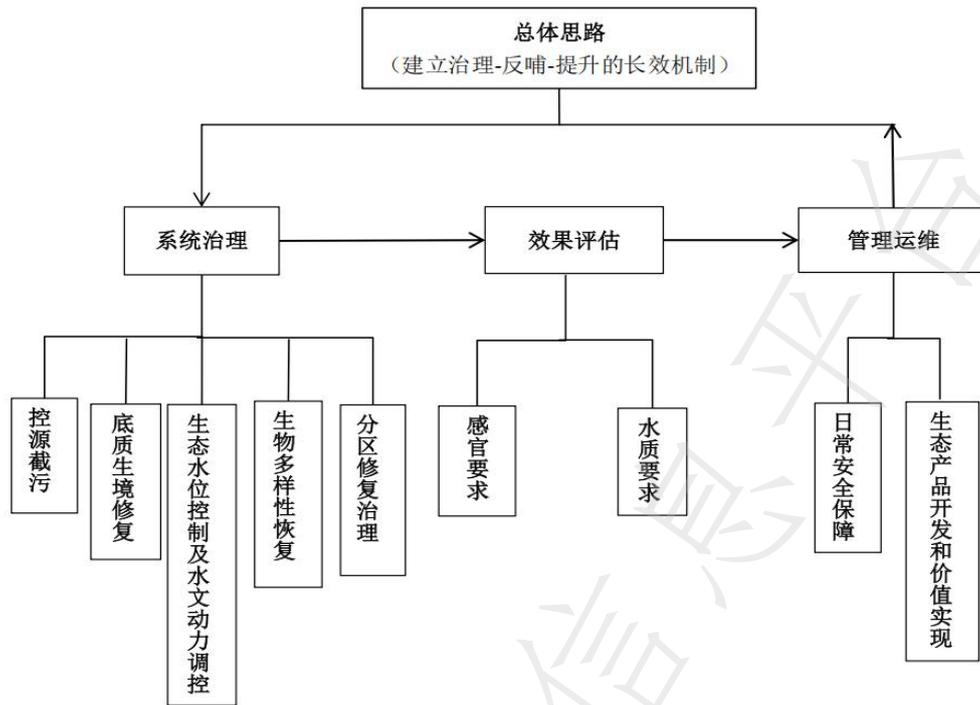


图 1 湖泊生态修复治理技术路线

7 系统治理

7.1 控源截污

7.1.1 生活污水

7.1.1.1 城市宜完善污水收集与管网建设，将污水收集集中处理，集中式大型污水处理厂建设应符合建标 198 规定的要求，处理规模低于 1 万 m³/d 的小城镇污水处理厂建设应符合建标 148 的规定。

7.1.1.2 城市污水处理厂，可采用人工湿地、生态塘等低能耗深度处理技术提升水质，提高中水回用的资源化利用率，中水回用应符合 GB/T18920 的规定。

7.1.1.3 城镇周边和邻近城镇污水管网的村庄，应将农村生活污水接入城镇污水管网。

7.1.1.4 不具备接管条件、居住相对集中的村庄，应因地制宜采用相对集中或集中式处理的模式。农村生活污水处理设施应符合 GB/T 51347 的规定。

7.1.1.5 居住相对分散或管网建设难度较大的村庄，采用人工湿地、生态塘等生态治理技术或其他分散处理的模式处理。

7.1.1.6 人工湿地设计按照 HJ 2005 及生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行；生态塘等生态处理设施设计按照 CJJ/T 54 执行；基底修复改良方法，按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.1.1.7 农村生活污水处理后排放水质应符合 GB/T 37071—2018 中第 8 章的规定。

7.1.1.8 农村生活污水资源化利用时,应符合国家、行业和地方标准的规定。如进入农田灌溉渠道,应符合 GB 5084 的规定。

7.1.2 畜禽养殖污染

7.1.2.1 畜禽养殖应根据周边农业种植对粪污的消纳能力确定养殖规模,采用种养结合的发展模式,产生的粪污无害化后资源化利用,畜禽粪污无害化处理应符合 GB/T 36195 的规定;无害化处理后生产有机肥应符合 NY/T 525 的规定,无害化处理后直接还田利用应符合 GB/T 25246 的规定。

7.1.2.2 土地消纳能力不足的地区,应建立收集运输体系和区域处理中心,做成有机肥销售或能源化利用,能源化利用方式包括生产沼气或提纯生物天然气等。

7.1.2.3 畜禽养殖场应建设与养殖规模匹配的粪污处理与资源化利用设施,并按照有关规定及时收集、储存、清运、利用或综合处理,确保正常运行。

7.1.2.4 畜禽养殖污染治理工程设计参照 HJ 497 的规定执行,养殖废水处理后排入地表水体的,要达到规定的国家、行业、地方排放标准。配套人工湿地、生态塘等生态技术时,人工湿地设计按照 HJ 2005 及生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行;生态塘设计按照 CJJ/T 54 执行;基底修复改良方法,按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.1.3 水产养殖污染

7.1.3.1 鼓励构建循环水养殖,稻渔、鱼菜共生种养等生态养殖模式。

7.1.3.2 应选择科学的投喂方式降低残饵量,设置粪污、残饵、垃圾等废弃物收集和处置装置。

7.1.3.3 水产养殖尾水排放水质应符合相关排放标准要求,处理后循环利用应符合 GB 11607 的要求。

7.1.3.4 水产养殖应实施养殖鱼塘改进作业,提高底泥自我净化能力和岸坡的截污消纳能力,完善循环水和进、排水处理设施。尾水采用生态沟渠、生态塘、人工湿地等生态处理技术时,人工湿地设计按照 HJ 2005 及生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行,生态沟渠、生态塘设计按照 CJJ/T 54 执行,基底修复改良方法,按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.1.4 垃圾清理

7.1.4.1 包括湖泊沿岸垃圾清理和水面漂浮垃圾的清理。湖泊沿岸垃圾、水面漂浮物应定期清理打捞。

7.1.4.2 生活有机易腐垃圾应优先资源化利用,农村无法就地资源化利用的垃圾可采用村收集、镇转运、县处理的治理模式。农村生活垃圾处理按 GB/T 37066 执行。

7.1.5 种植源污染

7.1.5.1 基于种养结合模式,构建源头减量增效—氮磷循环利用—水系廊道多级拦蓄—末端治理的流域面源生态治理技术体系。

7.1.5.2 农村种植应实施化肥、农药减量增效:

- a) 化肥减量可采取种养结合、测土配方施肥、调整化肥使用结构、改进施肥方式、有机肥替代部分化肥等方式;

b) 农药减量可采取高效低毒低残留农药替代高毒高残留农药、大中型高效药械替代小型低效药械、精准科学施药和病虫害统防统治等方式。

7.1.5.3 农田排水可采用过程拦截和末端治理等组合技术处理模式。处理工程不应影响农田灌排。

7.1.5.4 过程拦截模式采用生态工程对农田排水的污染物进行吸附、沉淀、转化和吸收利用，包括生态田埂、生态拦截带、生态拦截沟渠等技术。末端治理模式通过对农田排水收集后进行处理与利用，包括生态塘、人工湿地等技术。

7.1.5.5 采用生态田埂、生态拦截带、生态拦截沟渠的过程拦截及生态塘、人工湿地等末端治理技术时，基底修复改良方法，按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行，人工湿地设计按照 HJ 2005 及生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行，生态田埂、生态拦截带、生态拦截沟渠、生态塘设计按照 CJJ/T 54 执行。

7.1.5.6 农业生产废弃物秸秆应资源化利用，可采取肥料、饲料、燃料等资源化利用方式。

7.1.5.7 农业生产废弃物农膜应通过标准地膜应用、专业化回收、资源化利用等方式治理。

7.1.6 工业污染

7.1.6.1 工业企业宜集中入园入区，废水进入园区公共污水处理设施集中处理。

7.1.6.2 推动工业园区循环化改造，推进水循环利用、废弃物资源化利用。

7.1.6.3 工业废水排放应符合相关国家、行业、地方标准要求。

7.1.7 水上交通污染

7.1.7.1 加强湖泊船舶污染的治理，严格执行船舶生活垃圾、废水、油污的处置、排放管理要求，安放油水分离器和污水处理设备。

7.1.7.2 鼓励使用电动等清洁能源动力船，减少燃油污染。

7.1.8 排污口管理

7.1.8.1 应对入河排污口开展排查、监测、溯源等调查工作，分级分类推进入湖排污口管理。

7.1.8.2 入湖排污口应采取雨污分流改造方案，污水排入市政污水管网，由污水处理厂达标处理。

7.1.8.3 污水处理厂尾水入湖排口，应结合湖泊水功能区水质保护目标，合理确定尾水排放标准，不满足排放标准时，可在入湖前采用湿地调控净化等措施处理，具体按照本规范 7.2.4 湿地调控的有关要求执行。

7.1.9 生态护岸拦截

7.1.9.1 生态护岸主要用于拦截、消纳初期雨水地表径流造成的水体面源污染。

7.1.9.2 根据水体环境条件、岸坡基质，应采用自然岸带，尽量保留原有岸坡。植物群落修复采用自然恢复模式，或以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合系统治理的模式恢复自然生态系统。

7.1.9.3 对崩岸、塌岸、淘刷严重的湖泊堤岸，应根据坡度、土质、冲刷程度、水体功能等，选择结构稳定、养护方便、耐久性好的植物护岸、天然材料加固植物护岸或人工材料加固植物护岸，避免单一护岸形式。植物应以本土植物为主，采用根系发达的本地土草本、灌木、小乔木。

7.1.9.4 生态护岸的设计与建设应符合 GB 50286、GB 50707、JTS 154 的要求。有条件的地区可设置生态缓冲区，生态缓冲区的建设按照本规范 7.5.2 湖滨缓冲区的有关要求执行。

7.1.9.5 生态护岸基底修复改良方法，按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.2 底质生境修复与水质净化

7.2.1 原位修复

7.2.1.1 污染底泥对水质及水生生物造成较大不利影响，或底泥板结时，应进行底质生境修复。底泥厚度不影响水体流动、通航、行洪、排涝或其他水体功能时，应对底泥采用原位修复治理。底泥中存在重金属且含量超过 GB 15618 中农用地土壤污染风险管控值的，按 GB 15618 的规定执行。

7.2.1.2 底泥原位修复所使用的材料有害物质限量要求按 GB 38400 执行，所使用的微生物以本土有益微生物为主体，应根据底泥污染物种类、污染程度、底泥厚度、水力条件等情况，在试验基础上确定修复材料和修复深度，制定修复技术路线。

7.2.1.3 施工时确保原位修复材料均匀分布，避免局部材料过量或不足，影响修复效果。

7.2.1.4 应使用低扰动设备，控制施工扰动，减少污染物扩散，扰动较大时，应设置围堰。

7.2.1.5 底泥淤积影响水体通航、行洪等水体功能时，应先清淤处理，操作方法按照本规范 7.2.2 生态清淤的要求执行，清淤后再对剩余底泥原位修复处理。

7.2.2 生态清淤

7.2.2.1 对底泥淤积严重，影响水体流动、通航、行洪、排涝或其他水体功能的湖泊，先采用清淤处理。清淤前，依据水体大小、淤泥量等调查结果，确定底泥清淤范围、深度、方式、设备及施工期。底泥中存在重金属且含量超过 GB 15618 中农用地土壤污染风险管控值的，按 GB 15618 的规定执行。

7.2.2.2 清淤疏浚应采取防污染扩散的保护措施，不对地下水、饮用水源地、自然保护区等敏感水域的水体环境产生影响。

7.2.2.3 清淤底泥经无害化处理后，根据底泥成分及利用条件可以就近用于岸坡修复。需要外运的，根据场地条件及处置要求，选择自然干化法、土工管袋法、真空预压法、机械脱水法等底泥脱水固化工艺。底泥脱水产生的余水排入环境中，其水质应符合当地环境管理要求，避免造成二次污染。

7.2.2.4 经无害化处理后，清淤底泥根据底泥成分及利用条件，可用于农田改良、园林绿化种植土、有机肥、河湖缓冲带修复及湿地建设、制作陶粒和水泥等资源化利用。

7.2.2.5 清淤完成后，应对剩余底泥修复改良，操作方法按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.2.2.6 以恢复水生植被生境为主的疏浚，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。

7.2.2.7 清淤疏浚有关技术要求按照 SL 17 的相关规定执行。

7.2.3 湖滨物理基底修复

7.2.3.1 湖滨湖盆地貌、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，应开展地貌重塑、护岸、消浪等物理基底修复措施。物理基底修复改良，操作方法按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.2.3.2 地貌重塑应以湖滨带、河口及近岸区等生物多样性较高的区域为重点区；应根据不同本土

植被生长所需的水深、底质类型等生境需求以及重要动物栖息地保护要求实施地貌重塑；在地貌重塑时，应修复岸线的蜿蜒度，维持岸线类型的多样性。

7.2.3.3 消浪可选择潜堤、丁坝等设施，消浪设施顶高应低于枯水期水位。消浪设施建设按照 JTS154 执行。

7.2.4 湿地调控

7.2.4.1 进行湖泊底质生境修复后，水质仍达不到治理目标的可采用湿地调控净化技术，湿地由基质和生长在其上的水生植物组成，人工湿地利用湿地中填料、水生植物和微生物之间的相互作用，通过系列物理、化学及生物过程实现对污水的净化。人工湿地设计按照 HJ 2005、生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行；湿地基底基质修复改良方法，按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行。

7.2.4.2 湿地选址及布置要求应充分结合河流水文、地质条件，选择面积适宜、对湖泊影响较小的区域布置湿地设施，避免因选址不当导致的湿地裂损、倒灌、排水不畅等问题。应选择便于施工、维护和管理的位置布置设施。根据湖泊缓冲带的空间位置及结构形态，污染负荷削减需求等因素，选择适合的工艺组合。湿地出水水质原则上应达到受纳水体水功能区水质保护目标要求。

7.2.4.3 工程应符合排水通畅、能耗低、土方平衡的要求，水流采用重力流，必要时一次提升。针对支流河口、汉港或有污水厂尾水排放的区域，可优先选择对总氮、总磷等去除效果较好的潜流人工湿地或者生态滤池。

7.2.4.4 当人工湿地的进水负荷较高时，应结合海绵城市建设，尽量降低进水负荷。

7.3 生态水位控制及水文动力调控

7.3.1 生态水位控制

7.3.1.1 生态水位的确定应满足湖泊生态保护对象的用水需求。湖泊生态保护对象包括但不限于：

- a) 基本生态保护对象：湖泊基本形态、基本栖息地、基本自净能力；
- b) 特殊生态保护对象：保护要求明确的重要生态敏感区、水生生物多样性等。

7.3.1.2 山地丘陵区、山地区和丘陵区尤其是面临生态退化的敏感区或脆弱区的湖泊，城镇建成区公园水体等重要景观湖，对水文化保护传承起着重要载体作用的湖泊，应考虑生态水位控制措施。河网平原区和滨海平原区等生态敏感区的湖泊，应优先实施生态水位控制措施。

7.3.1.3 应结合水环境及水生态变化趋势分析，筛选环境保护目标，明确生态水位控制断面，界定对水生态健康恢复产生重要影响的水量、水质、水体透明度等环境要素取值适宜区间，并以此作为生态补水的控制条件。

7.3.1.4 湖泊生态水位的核算方法包括水力学方法、水文学方法、栖息地模拟法、整体分析法等，应符合 SL 709、SL/T 712 的要求。

7.3.2 水文动力调控

7.3.2.1 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，应开展水文水动力调控。水位调控根据植物生长的物候期变化进行调控，并要关注水位变化与底泥再悬浮对透明度的影响。水生植物萌发期维持低水位，生长期控制水位上涨幅度，成熟期应保持水位稳定。

7.3.2.2 应根据生态补水对象的水动力特征、水体自净能力及水功能区水质要求，综合考虑生态调水水源、水量、水质、时间、路径、工程投资等因素，制定生态调水方案。河网平原区和滨海平原区的生态调水应符合以下要求：

- a) 综合考虑地区用水需求，开展生态调水水源论证，并根据河网水动力、水环境现状及提升需求，充分利用现有的水闸、泵站、堰坝等水利设施；
- b) 在满足防洪排涝安全的前提下开展生态调水，充分调研平原区外排闸泵、内河节制闸分布情况，采用闸站群联合调度方式；
- c) 对于滨海平原区感潮河段，外排闸开启受下游潮位影响，充分考虑闸下潮位过程，明确水闸开启时间及时长。

7.3.2.3 结合水系汛期、非汛期水情特点和补水对象生态敏感期需求，合理确定水源水量、调水时段，制定闸站群调度运行规则，最大限度使得有限水源发挥最佳改善效果。

7.3.2.4 用于水文水动力调控的现有水系河道、农田灌溉排水沟渠及末端生态塘、人工湿地的基底修复改良，操作方法按照本规范 7.2.1 原位修复的要求执行，人工湿地设计按照 HJ 2005 及生态环境部颁布的《人工湿地水质净化技术指南》执行，生态沟渠、生态塘等生态处理设施设计按照 CJJ/T 54 执行。

7.4 生物多样性恢复

7.4.1 植物群落恢复

7.4.1.1 植物群落恢复遵循生态系统自身的演替规律，采用自然恢复模式，或以自然恢复为主、自然恢复与人工修复相结合的系统治理模式，构建生物群落和生态系统结构，实现植被的自然演替。

7.4.1.2 在满足生境条件适宜、生境修复后条件适宜、先锋植物恢复后生境条件适宜的情况下，可进行植物群落恢复。

7.4.1.3 优先选择适合本地水文条件和土壤状况的较宽生态位的本土先锋植物，并以本土先锋植物为基础优化植物配置，提升生态系统功能。

7.4.1.4 应结合地形、水文条件等，在遵循本地物种优先、保护当地特有生境、提高生物多样性等基本原则的基础上，注重植物的生态习性、空间配置和时间配置，选择对氮、磷等污染物去除能力较强、用途广泛、经济价值较高、观赏性强的物种。

7.4.1.5 缓冲带的植物群落修复应考虑常绿树种与落叶树种混交、深根系植物和浅根系植物搭配、乔灌木相结合等。植物搭配可采用乔木+灌木+草本、乔木+草本、灌木+草本配置方式。乔灌木植被区域一般分为邻水区、中间过渡区和近陆区。邻水区位于水陆交错区，以乔木林带为主，可保护堤岸、去除污染物并为野生动物提供栖息地，宽度一般不低于 5 m；中间过渡区以乔灌木树种为主，可减少湖岸侵蚀、截留泥沙、吸收滞留营养物质、增加野生动物栖息地，宽度一般不低于 15 m；近

陆区位于外侧远离湖岸的区域，主要以草类植物为主，可穿插配置灌木，用于阻滞地表径流中的颗粒物，吸收氮、磷，降解农药等污染物，宽度一般不低于 6m。

7.4.1.6 湖滨带植物群落修复主要针对由于生产建设活动导致植物群落被破坏的滩地。可重点种植常绿植物，提高滩地植物的拦截净化功能，改善湖岸生态景观效果。应基于滩地水流条件，确保植物群落修复后的稳定性。植被恢复范围为设计高、低水位之间的岸边水域，一般保证有 3m~5m 的宽度范围。

7.4.1.7 水生植被恢复种类主要包括水生维管束植物（沉水植物、浮叶植物、挺水植物）。有行洪排涝需求的，不应种植沉水植物、浮叶植物和大型木本植物。

7.4.1.8 水生植被群落配置应考虑挺水植物、浮叶植物、沉水植物等不同生活型植物的立体结构、空间分布和季节演替。

7.4.1.9 挺水植物带恢复水深宜设置在 0m~2m，浮叶植物带恢复水深宜设置在 0.5m~4m；沉水植物带恢复最大水深阈值可选择 2.0 倍~2.5 倍透明度，高原等日照好的地区可选择 2.5 倍~3.0 倍透明度；风浪、底质等生境条件较差时应适当降低水生植被恢复的最大水深阈值。

7.4.1.10 通过人工措施或辅助措施，配置沉水植物群落形成水下森林。水下森林主要用于深度净化水体，削减氮磷等营养物质，改善水体溶解氧，抑制藻类生长，促进湖泊自净能力，改善内部循环。

7.4.1.11 若目标水体浊度高，水下森林建设需在前期辅以措施降低浊度，改善水体透明度，以满足沉水植物生长所需光照等条件。

7.4.1.12 水下森林适用于流速缓慢、水深不超过 4m（最佳深度为 1.5m~2.5m）、岸线复杂性较高的水域，应综合考虑湖泊水深、水流、透明度、基底等生境条件选择适用物种。

7.4.1.13 应考虑草食性动物（如草鱼等）对沉水植物的破坏影响。应适当配置大型本土底栖动物和不同食性的鱼类，实现氮磷营养物质的食物链转化利用。

7.4.1.14 不应栽种水盾草等恶性入侵类水生植物，严格禁止粉绿狐尾藻、香菇草、伊乐藻等外来有害物种的种植，采取刈割、翻耕等综合治理措施治理外来有害植物，消除其危害、遏制其蔓延。外来入侵物种甄别见农业农村部、自然资源部、生态环境部等 6 部委颁布的《重点管理外来入侵物种名录》。

7.4.1.15 恢复湿地，促进水生植被的生长和繁殖，提升水体净化能力。具体按照本规范 7.2.4 湿地调控的有关要求进行。

7.4.2 水华控制

7.4.2.1 水华控制应以水生植物分布区、饮用水源地、对居民及景观有重要影响的区域为重点。

7.4.2.2 水华控制可采取长效控制和应急控制。长效控制应通过控源截污、内源治理、生态系统调控等降低氮磷富营养因子负荷；当出现水华藻类明显聚集、散发异味等情形时，可采取拦截、打捞等应急控制措施进行水质改善，存在冲击性污染风险的区域，应采取控源截污措施。

7.4.2.3 根据生态风险评估结果进行生态系统调控。生态系统调控方式可依据水生食物网下行效应和上行效应进行选择，下行效应可选择经典生物操纵和非经典生物操纵。生态系统调控应按以下原则进行：

- a) 生态系统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；
- b) 当湖泊水华主要由蓝藻造成时，可采用非经典生物操纵，投放一定比例的滤食性鱼类；
- c) 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，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；
- d) 利用有益微生物以及各种滤食动物进行调控，可通过科学调控滤食性的鱼类鲢、鳙养殖密度，控制藻类生物量；
- e) 根据藻类分布情况，在局部水体进行鱼类控，应采用围隔控制范围；
- f) 在浅水水体中鲢、鳙与大型沉水植物共同作用，可提高藻类控制效果；
- g) 利用水生植被恢复进行上行效应调控时，应控制草食性鱼类对水草的牧食压力。

7.4.3 本土鱼类及本土底栖动物恢复

7.4.3.1 采用自然恢复模式，或以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合的模式，恢复湖泊中本土鱼类、本土大型底栖动物等水生动物。

7.4.3.2 本着适度人工干预的原则，通过人工繁殖技术，控制繁殖环境、提供适宜的营养和生长条件，来增加本土鱼类和本土大型底栖动物的数量。

7.4.3.3 应保护本土鱼类及本土大型底栖动物栖息地的连通性和完整性，重点保护、修复关键幼种栖息地；应建立特有、珍稀鱼类及本土大型底栖动物种质资源保护地或保护设施。

7.4.3.4 通过增殖放流提升本土鱼类和本土大型底栖动物的种群密度，优化群落结构；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；在增殖放流后，应评估生态调控效果。

7.4.3.5 建立专门的本土鱼类和本土大型底栖动物的保护基地或试验站，为本土鱼类和本土大型底栖动物提供安全的的栖息和繁殖环境。

7.4.3.6 本土鱼类及大型本土底栖动物恢复应在控制捕捞方式和强度基础上实施。

7.4.3.7 设立禁渔区、禁渔期，禁止使用禁用的工具和方法进行捕捞，以保护本土鱼类和大型本土底栖动物的生存和繁衍。

7.4.3.8 采取人工、机械捕捞、清除，引入本地捕食者等措施控制外来入侵物种。外来入侵物种甄别见农业农村部、自然资源部、生态环境部等6部委颁布的《重点管理外来入侵物种名录》。

7.5 分区修复治理

7.5.1 河口区

7.5.1.1 以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合的系统治理模式，遵循河口水文自然梯度规律，恢复河口的生态空间和形貌，保持河口的生物多样性，提升河口入湖水质。

7.5.1.2 根据平原河网内河口、冲击形河口、汇流型前置库河口、过水性湖荡河口等不同地形地貌及水文因素、水质污染程度、基底生境条件的差异，进行河口区水生态要素修复治理，针对入湖水水质未达到要求的河口，可构建前置库、原位或异位河口净化湿地。流域河口较窄且可通过建闸坝形成滞水区的河口区，可构建前置库；河口滩地面积较大的河口区，可构建原位河口净化湿地；河口滩地面积较小、缺乏足够净化空间的河口区，可构建异位河口净化湿地或采取其他适宜措施。河口区水生态要素修复治理具体按照本规范 7.2 底质生境修复与水质净化、7.3 生态水位控制及水文动力调控、7.4 生物多样性恢复的要求执行。

7.5.1.3 优先保护河口滩地，按径流对河口的冲刷和淤积特征适度进行形貌修复，有重要生物保护价值的滩地适当进行护滩、固滩，减轻滩地水流冲刷强度。

7.5.1.4 在进行底质修复、构建前置库、原位或异位河口净化湿地等措施后，仍存在藻类堆积的河口区，可视藻类堆积程度按照本规范 7.4.2 水华控制的技术要求控藻。

7.5.2 湖滨缓冲区

7.5.2.1 以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合的系统治理模式，湖滨缓冲区重点恢复其生物多样性保护功能与地表径流入湖水水质净化功能。湖滨带重点恢复生境异质性、生物多样性，提升湖泊自净能力；缓冲带重点恢复地表径流面源污染拦截消纳能力。

7.5.2.2 遵循湖滨地质发育特点、湖滨水-陆生态系统的作用、演化规律，分别种植沉水植物、浮叶植物、挺水植物、湿生植物。保护自然状态良好的区域，避免对其进行干预或干扰，充分发挥自然恢复能力。

7.5.2.3 根据平原河网-大堤型湖滨缓冲区、平原圩区型湖滨缓冲区、高原山前坝区型湖滨缓冲区、山体陡岸湖滨缓冲区、反季节大水位变幅库区消落带等不同地形地貌及其水文因素、水质污染程度、基底生境条件、植被类型等的差异，进行湖滨缓冲区水生态要素修复治理，具体按照本规范 7.2 底质生境修复与水质净化、7.3 生态水位控制及水文动力调控、7.4 生物多样性恢复的要求执行。

7.5.2.4 湖滨带生态修复治理应以生物多样性保护功能为主，兼顾地表径流入湖水水质净化、水土保持、景观等功能。

7.5.2.5 湖滨带自然形貌修复与生境条件改善可采取基底修复、岸坡防护、消浪等措施，构建适宜陆生、湿生、水生等本土植物或附着藻类生长的高程/水深梯度以及水动力环境。大堤型湖滨带可在大堤临湖侧采取消浪与基底重塑措施，构建浅滩生境，减轻风浪淘蚀。反季节大水位变动的水库消落带水土流失防治可采取护坡、反坡梯田等技术。基底修复，操作方法按照本规范 7.2.3 湖滨物理基底修复的要求执行，岸坡防护、消浪设施建设按照 JTS154 执行。

7.5.2.6 湖滨带植被群落恢复应根据不同形貌特征进行设计。缓坡型（坡度 $<20^{\circ}$ ）湖滨带生态修复应按完全演替系列或半演替系列构建，应由陆向朝湖向依次构建陆生植物、湿生乔木/挺水植物、浮叶植物和沉水植物；陡坡型（坡度 $>20^{\circ}$ ）湖滨带应重点恢复附着藻类的生物多样性。

7.5.2.7 湖滨带动物群落修复一般与湖滨带植被恢复、岸线形貌恢复等措施相结合，应重点考虑鱼类、大型底栖、两栖、爬行、水鸟等动物的栖息地恢复。

7.5.2.8 湖泊缓冲带生态修复治理以地表径流入湖水质净化功能为主，兼顾生物多样性保护、水土保持、景观等功能。

7.5.2.9 缓冲带的范围应根据入湖污染负荷量、单位面积缓冲带净化能力、湖泊的保护需求以及实际可利用生态用地来确定，保证其净化效果；湖滨带有动物重要栖息地时，缓冲带的范围还应满足栖息地保护和隔离人为干扰的要求。

7.5.2.10 缓冲带径流流量应沿等高线分配，使水流分散平缓地流过缓冲带；径流量小的汇水区可设置植被缓冲带，应选用抗污能力强、生物量高、根系发达的植被种类构建林草混合植被带，靠近污染源处应优先选择耐污和净化能力强的植被；径流量大的汇水区可设置具有径流调蓄功能的塘湿地，塘湿地建设按照本规范 7.2.4 湿地调控的要求执行。调蓄塘湿地宜具备 20%~50% 年雨水径流量调蓄能力，并应定期清理其中沉积淤泥。

7.5.2.11 有机质含量高的湖泊缓冲带的乔木带，应与湖泊保持一定距离，减少落叶等植物残体入湖。

7.5.2.12 湖滨缓冲区生态修复工程技术选择和实施，应符合生态环境部颁布的《河湖生态缓冲带保护修复技术指南》要求。

7.5.3 湖湾

7.5.3.1 以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合的系统治理模式，以水生植被及鱼类、本土底栖动物等不同营养级的动植物群落系统性恢复为主，重点推进种群重建恢复工作。

7.5.3.2 根据湖湾浅水区、下风向重污染汇流湖湾、沼泽化控制型湖湾、饮用水源保护功能湖湾、多层次物种保育湖湾等不同地形地貌及水文、水质污染程度、底质生境、汇流状况、主导风向等的差异，进行湖湾区水生态要素修复治理，具体按照本规范 7.2 底质生境修复与水质净化、7.3 生态水位控制及水文动力调控、7.4 生物多样性恢复的要求执行。

7.5.3.3 优先保护水生植被自然生长良好、重要生物栖息地等湖湾区域，避免对其干预或干扰。生态健康状态良好的湖湾，应建立种质资源保育区，维持生物多样性。

7.5.3.4 水生植被退化的湖湾，以沉水植物群落恢复和扩增为主。浅水区应重点恢复和保护种子库；深水区应采用建群种移栽等方式辅助恢复。

7.5.3.5 湖湾浅水区生态修复治理应考虑湖泊水文节律与水生植物萌发、生长的匹配性。

7.5.3.6 有蓝藻水华影响的下风向湖湾，可在湖湾外围设置控藻区，具体按照本规范 7.4.2 水华控制的要求执行。

7.5.4 敞水区

7.5.4.1 以自然恢复为主，自然恢复与人工修复相结合的系统治理模式，以恢复上、中、下层鱼类立体结构、调控水生食物网为主，维持水生食物网良性物质循环和能量流动。

7.5.4.2 根据敞水区地形地貌及水文、水质污染程度、底质生境、汇流状况、主导风向等的差异，进行敞水区水生态要素修复治理，具体按照本规范 7.2 底质生境修复与水质净化、7.3 生态水位控制及水文动力调控、7.4 生物多样性恢复的要求执行。

7.5.4.3 合理确定敞水区水生食物网调控模式。水华蓝藻比例较高的敞水区,采用滤食性鱼类调控;水华蓝藻比例较低的敞水区,可投放本土肉食性鱼类和/或定向捕捞食浮游动物鱼类;有机碎屑含量较高但溶解氧浓度适宜的敞水区,应投加碎屑食性鱼类和/或大型本土底栖动物。

8 效果评估

8.1 治理目标

8.1.1 水质达到湖泊水功能区水质保护目标。

8.1.2 具备或提升生态产品开发价值。

8.2 评估程序

8.2.1 湖泊生态修复治理各项工程验收应符合相应的规范标准。

8.2.2 有关部门可委托第三方机构评估,评估机构需对治理前后的情况做摸底调查,跟踪各项治理措施实施进展情况,评估治理效果。

8.3 评估内容

8.3.1 感官要求见表1:

表1 感官要求评价内容

序号	类别	感官要求	感官评价
1	水资源	有湖有水	1. 已批复生态水位控制指标的,按达到生态水位控制指标观测; 2. 未批复生态水位控制指标的,按照相关规范计算出的生态水位控制目标值观测。
2	水生态	有鱼有草	1. 湖泊自然岸线稳定;岸带植被全面恢复,岸带以本土植物群落为主体。 2. 水中有代表性的本土动物群落得到恢复,本土鱼类、本土大型底栖动物成为主体动物群落。
3	水环境	人水和谐	1. 没有污水直排入湖,沿线、水面无垃圾,水质稳定达到或优于水功能区水质保护目标地表水环境质量标准; 2. 满足公众的景观、休闲等基本亲水需求,实现生产、生活、生态的融合。

8.3.2 水质要求见表2:

表2 水质要求

项目	指标	备注
透明度, cm	≥25 (根据: 农村黑臭水体治理工作指南)	根据水质等级开发水生态产品, 形成湖泊治理与水关联产业“治理-反哺-提升”的长效机制。
其他水质指标	达到/优于水功能区水质保护目标地表水环境质量标准。	

注: (1) 水深不足 25cm 时, 按水深的 40%取值;
(2) 每个水体的监测点不少于 3 个, 每 2 个月检测 1 次, 全年检测 6 次;
(3) 检测应选在无自然因素(如暴雨等)或水体周边农田耕作翻土等农事活动、工程施工等导致水质指标异常升高的时段。

9 管理运维

9.1 日常安全保障

9.1.1 建立湖泊风险源信息系统及水资源、水质、生物多样性、区块链溯源等动态监测体系, 构建水质安全风险预警处置、追踪水资源使用和生态价值流转平台, 纳入河湖长管理, 为水质安全保障、水生态产品价值核算、认证及交易提供数据支撑。

9.1.2 应建立运行与维护操作规程、跟踪监测与评估、突发事件应急人员管理培训等管理制度。

9.1.3 应将运行维护期划分为工程养护期和运行维护期, 工程养护期应不低于主要植物、动物的一个生长、发育、繁殖期, 可采取养护、保护动植物生长、发育和繁殖的措施; 运行维护期可减少养护措施, 以生物自然恢复为主。

9.1.4 应对生态修复运维设施进行定期的检查维护, 对周边污染、无关人为活动加强管理。

9.1.5 应根据生态跟踪监测和评估结果适当调控生境和生物群落, 如植物补种、水生动物补充投放、过度滋生植物管控、过度繁殖鱼类捕捞等。

9.1.6 应防范外来入侵物种, 并控制病虫害危害。

9.1.7 制定汛期、极端气温、干旱时期、蓝藻爆发、突发水污染事故、外来物种入侵等特殊条件下的应急预案和应对措施, 建立人员、物资储备机制和技术保障体系, 提高应急能力建设。防汛、抗旱、藻类暴发等特殊时期或水体周围突发性污染事故等情况下, 致使水质突然恶化, 应及时处理。管理部门接到水体发生突发性水污染事件信息后, 应及时确认, 并依据水体及周围环境条件, 就近设置处理设施, 或采用污水处理移动车、移动式应急净化装置。

9.1.8 运维部门应急处理时, 可采用以下单一或组合技术进行及时治理:

- a) 采用吸附、隔离、清理及打捞等物理法, 必要时采用修筑围堰等工程措施, 防止污染扩散;

b) 依据水体污染物化学性质及水生态环境情况，采用专用混凝沉淀等技术应急处理，混凝沉淀处理剂有害物质限量要求按 GB 38400 执行。

9.2 生态产品价值实现

9.2.1 湖泊生态产品的开发要以水生态保护修复为基础，根据水质等级与水关联产业融合，充分发挥市场化机制，将优质水资源所创造的生态价值转化为货币价值，实现“绿水青山就是金山银山”的价值转化。

9.2.2 将湖泊治理与绿色产业发展相融合，在保护和改善水生态环境时，挖掘和提升优质水资源、健康水生态、宜居水环境、先进水文化的产品价值，带动生态旅游、生态农业、文化教育、森林康养、体育运动、休闲露营等产业发展。将美丽、幸福河湖建设所创造的生态价值转化为经济价值的同时，利用经济收益反哺美丽、幸福河湖保护与建设，打造水生态保护治理与关联产业“双向增值反哺”的生态产品，实现生态与经济的双赢。

9.2.3 采用 GEP（生态系统生产总值）核算体系，具体核算方法按照国家发改委、国家统计局颁布的《生态产品总值核算规范》执行，评估水生态系统在物质供给、调节服务、文化服务等方面的货币价值。

9.2.4 要根据划定的水生态保护红线及政府产业规划，科学开发。水生态产品开发过程中要平衡水资源利用和生态保护的关系，避免过度开发。

9.2.5 推进成熟、先进的水环境治理技术在湖泊治理中的应用，维护湖泊优质水生态环境，创造湖泊生态系统可交易的生态价值。

9.2.6 充分发挥市场机制，推进区域水权交易、取水权交易、灌溉用户水权交易、将节水指标纳入碳交易市场等多种用水权市场交易，促进水资源节约和水资源生态产品的价值实现。

9.2.7 通过突出优质水源地溯源，生态产品认证、标签等品牌化策略，提升产品附加值，将绿色农产品、健康食品、天然饮品等水关联物质产品的生态价值直接商品化。

9.2.8 依托优质水资源，深入挖掘湖泊文化内涵，开发湖泊文化生态产品。将美丽、幸福河湖建设与生态农业、休闲、旅游等产业融合，驱动湖泊文化服务生态产品的品牌效应，吸引游客和人才集聚，促进文化服务产业发展和绿色高端产业集群。

9.2.9 开展水资源生态保护补偿。推动调水区和受水区之间、流域上下游间，按照协商原则，综合考虑水生态产品价值核算结果、水生态产品实物量及质量等因素，开展生态补偿，促进调节服务类生态产品的价值实现。

9.2.10 开展生态产品地质押融资。相关单位和个人依法开展用水权、水土保持生态产品和水域开发经营权等抵押、质押等绿色信贷业服务，积极开展“传统抵押+取水权增信”融资模式。

参考文献

- [1] 生态环境部、水利部、农业农村部. 2023. 农村黑臭水体治理工作指南
 - [2] T/CSES 79 受损湖泊生态修复技术导则
 - [3] 水利部河长办. 2023. 幸福河湖建设成效评估工作方案（试行）
 - [4] 生态环境部. 2022. 美丽河湖保护与建设参考指标（试行）
 - [5] 国家发改委、国家统计局. 2022. 生态产品总值核算规范（试行）
 - [6] 生态环境部. 2021. 人工湿地水质净化技术指南
 - [7] 生态环境部. 2021. 河湖生态缓冲带保护修复技术指南
 - [8] 农业农村部、自然资源部、生态环境部、住房和城乡建设部、海关总署、国家林草局. 2022. 重点管理外来入侵物种名录
-