

附件5

《湖库水生态环境质量监测与评价技术  
指南（征求意见稿）》  
编制说明

《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》

标准编制组

二〇二〇年九月

项目名称：湖库水生态环境质量监测与评价技术指南

项目统一编号：2020-L-6

承担单位：中国环境监测总站，中国环境科学研究院，江苏省常州环境监测中心，云南省生态环境监测中心，湖北省生态环境监测中心站，江苏省环境监测中心

编制组主要成员：阴琨，金小伟，刘录三，王业耀，徐东炯，李爱军，熊晶，许人骥，袁懋，陈桥，李继影，胡建林，蔡琨，张翔，王丑明，王光

标准所技术管理负责人：曹宇，余若帧

生态环境监测司项目负责人：楚宝临

# 目 录

1 项目背景.....	1
1.1 任务来源.....	1
1.2 工作过程.....	1
2 技术指南编制的必要性.....	2
2.1 水生态监测的重要意义.....	2
2.2 生态环境保护工作的需要.....	3
2.3 现行技术规范的实施情况和存在问题.....	4
3 国内外研究进展.....	4
3.1 国外相关规范指南的研究进展.....	5
3.2 我国相关规范指南的研究进展.....	11
3.3 本技术指南与国内外相关方法标准规范的关系.....	14
4 技术指南制订的基本原则和技术.....	14
4.1 指导思想.....	14
4.2 基本原则.....	15
4.3 技术路线.....	15
5 技术指南的主要内容.....	16
5.1 适用范围.....	16
5.2 规范性引用文件.....	16
5.3 术语和定义.....	16
5.4 监测要素.....	17
5.5 水环境质量监测.....	20
5.6 生境调查.....	21
5.7 底栖动物.....	23
5.8 浮游植物.....	24
5.9 浮游动物.....	25
5.10 大型水生植物.....	25
5.11 质量保证与质量控制.....	26
5.12 湖库水生态环境质量评价方法.....	29
6 技术指南实施建议.....	43
7 参考文献.....	44

# 《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》（征求意见稿）

## 编制说明

### 1 项目背景

#### 1.1 任务来源

随着 2007 年太湖水华事件等重大环境事件的发生，如何监测与评价水生态环境质量也就成为了一个亟待解决的重大问题。国家 863 计划、“水体污染控制与治理科技重大专项”在“十一五”和“十二五”期间设置了相关研究课题，2011 年，原环境保护部开展松花江流域水生生物试点监测工作，也是对流域水生态环境质量监测评价的一次重要尝试。2013 年，中国环境监测总站、中国环境科学研究院、辽宁省环境监测实验中心、江苏省环境监测中心和黑龙江省环境监测中心站等单位联合开展“十二五”水专项“流域水生态环境质量监测与评价研究”课题工作。同时，“十二五”期间，江苏省环境监测中心、常州市环境监测中心及苏州市环境监测中心等单位联合承担国家水专项“太湖流域（江苏）水生态监控系统建设与业务化运行示范课题”，以此为依托，原江苏省环境保护厅印发了《太湖流域（江苏）水生态健康评估技术规程（试行）》《水生态健康监测技术规程 淡水大型底栖无脊椎动物》《水生态健康监测与评价技术规程 淡水浮游藻类》等技术文件并在江苏省太湖流域开展业务化工作。为了满足国内日益增长的流域水生态环境监测与评价方面的技术需求，在这些重要的技术成果基础上，中国环境监测总站组织相关科学技术研究单位共同编写了《流域水生态环境质量监测与评价技术指南》（以下简称“指南”）。

2019 年 7 月，生态环境部科技与财务司将《流域水生态环境质量监测与评价技术指南》作为水专项第二批拟通过绿色通道发布的标准规范转送生态环境监测司。

2020 年 4 月 14 日，生态环境部正式下发“关于开展《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》等 28 项标准规范制修订工作的通知”的文件（监测函[2020]4 号），通过《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》（项目统一编号 2020-L-6）作为 2020 年第一批绿色通道立项标准制修订项目。

#### 1.2 工作过程

由于我国幅员辽阔，河湖众多，各流域甚至各支流的生态环境条件都有着很大的差异，借鉴水专项提出的“一河一策”“一湖一策”的指导思想，“指南”提出流域水生态环境质量评价也要“因河制宜”“因湖制宜”，即将流域水生态环境质量监测与评价作为一个开放的体系，把适用于我国流域的监测与评价方法都纳入进来，各地在水生态监测实践当中，可以按照指南建议的模式，从中筛选出适合本地流域特点的监测与评价方法，并在长期监测中不断摸索，修正完善，使之更适合本地流域水生态质量监测与评价的需要。

（1）2014 年，完成《流域水生态环境监测与评价技术指南（试行）》，以总站文件形式下发（总站水字[2014]124 号）各地监测站参照执行。《流域水生态环境监测与评价技术指南

《试行》》依托十二五水专项课题先后在辽河流域、太湖流域、松花江流域开展业务化示范，取得良好效果。

(2) 2015年11月3日，由原环境保护部监测司主持，在北京召开了“流域（河流、湖库）水生态环境质量监测/评价技术规范（试行）”评审会。评审专家听取了技术规范编写组的汇报，审阅了相关资料，经质询和认真讨论，形成以下论证意见：“流域（河流、湖库）水生态环境质量监测/评价技术规范（试行）”针对目前环境监测工作中生物监测的迫切需求，在水专项和试点监测等工作的研究成果基础上，针对河流和湖库的不同特点，建立了综合有效和具有可操作性的流域水生态环境监测和评价技术方法，符合我国现阶段水环境监测实际情况和技术体系发展需求。评审专家一致同意该技术规范（试行）通过评审。

建议尽快报环境保护部主管部门审批并在监测业务运行实践中组织试行。

(3) 2018年12月，编制组根据《流域水生态环境监测与评价技术指南（试行）》在全应用中的效果和反馈，开展指南修订工作，主要针对监测目标、湖库形态大小、内部生境结构等，修改完善点位设置、生境及水质调查、生物（大型底栖无脊椎动物、浮游植物、浮游动物及大型水生植物）现场采样技术内容，更新和完善生物评价方法。修订后的指南将更有力更科学的为湖库水生态环境质量监测和评估提供科学的技术支持。

(4) 2019年12月20日，由生态环境部生态环境监测司主持，在北京召开了《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》（征求意见稿）和《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》（征求意见稿）绿色通道立项评审会。评审专家听取了技术规范编写组的汇报，审阅了相关资料，经质询和认真讨论，形成以下论证意见：1）规范文本和编制说明的表述；2）尽快报生态环境部主管部门，推进本标准通过绿色通道立项，并尽快公开征求意见。经修改完善文本与编制说明，于2019年12月23日报送监测立项。

(5) 2020年4月14日，生态环境部正式下发“关于开展《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》等28项标准规范制修订工作的通知”的文件（监测函[2020]4号），本标准正式通过绿色通道立项。标准编制组立即组织专家函审和讨论会，根据组根据专家意见对本标准进行了修改和完善，编制完成《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》征求意见稿及编制说明。

(6) 2020年8月25日，由生态环境部生态环境监测司主持，在北京召开了《湖库水生态环境质量监测与评价技术指南》征求意见稿技术审查会。评审专家听取了标准编制组的汇报，审阅了相关资料，经质询和认真讨论，形成以下论证意见：①建议酌情精简和规范指南中相关术语；②建议在指南中进一步优化点位布设的普适性要求；③按照《环境保护标准编制出版技术指南》（HJ 565-2010）对标准文本和编制说明进行编辑性修改。编制组根据专家组意见对本标准进行了修改和完善。

## 2 技术指南编制的必要性

### 2.1 水生态监测的重要意义

水生生物（如藻类、大型底栖无脊椎动物和鱼等）直接生活于水中，是水生态系统的重要组成部分，是维持水生态系统结构和功能的关键要素，是水生态环境质量演变的“哨兵”。

同时，水生生物更易于被大众所感知，水中是否有鱼、虾、螺、蚌，是否暴发藻类水华、赤潮等可以作为判别水生态状况的感性依据，利于实现“国标”和“民标”的协调统一。水生生物监测与评价是通过监测水生生物来评价水体的生物学质量。湖库作为流域水生态系统的“源”和“汇”，其水生态环境质量集中反映了区域水环境污染负荷、水动力条件、栖息地改变等胁迫的情况和生态系统响应的状况。长期以来，我国的水环境管理处于水质目标管理阶段，水环境质量的评价、考核和排名主要依据水化学指标，如氨氮、总磷、高锰酸盐指数等。但是，水化学指标并不能代表水生态系统的全部，水质达标并不意味着水生态系统是健康的。

生物监测不是理化监测的补充，而是一项综合性监测，是不同视角的深化监测，有助于水环境管理目标从“污染防治”向“水生态健康”转变。与传统的理化监测方法相比较，生物监测的指示作用更具有综合性和快速性，其利用水环境中特征生物的群落结构、功能和生理生化指标来描述生态系统的健康状态和生态完整性，具有更灵敏、直观、客观、准确等特点。规范水生态监测和评价工作，有利于水质目标管理向水生态目标管理的转变，对践行生态文明思想和“山水林田湖草”生命共同体理念，对标“美丽中国”，实现高质量发展具有重要意义。

20世纪80年代开始，国外水资源政策开始强调生态保护，重视流域水环境的生态质量，美国、欧盟、澳大利亚、南非等发达国家先后开展了河流水生生物监测与评价研究计划。如1990年，美国环保局（USEPA）在启动“环境监测与评价研究计划”（EMAP），目的在于监测和评价美国的河流和湖泊的生态环境质量状况和变化趋势；2000年，欧盟成员国开始实施“水框架指令”（WFD），主要目标是到2015年，使各种水环境（河流、湖泊、地下水 and 近岸海域）处于良好状态。“水框架指令”要求各成员国评价水体的生态环境质量。水生态环境质量评价主要基于生物、水文地貌和物理化学质量，其中生物质量尤其重要。进入21世纪，韩国、巴西等一些国家也开始强调和重视水生生物监测和评价，并逐渐形成国家监测网络，如韩国于2003—2006年启动完成了“国家水生态监测工程”（NAEMP），目的是采用生物和生境指标来评价包括湖库在内的流域生态质量。近年来，由于我国水环境管理不断加强，水污染治理投入逐年增加，使得流域水环境质量开始改善，生态系统逐渐得到恢复。常规的理化监测指标（如COD、氨氮、重金属等）很难准确反映复杂的水环境健康变化趋势，不能满足日益提高的水环境管理评价需求。而我国当前流域监测网络整体仍不完善，流域污染源监测体系仍不健全，流域水生态监测工作起步又较晚。因此，亟需制定包含物理生境、水质理化、水生生物三要素的水生态监测与评价技术指南，规范水生态监测和评价工作，支持准确评估流域水生态环境质量的变化急迫需求。

## 2.2 生态环境保护工作的需要

当前，生态环境保护工作已对水生态环境质量监测与评价提出了需求：

（1）2015年国务院发布的《水污染防治行动计划》（“水十条”）中明确提出了，“到2020年区域水生态环境状况好转”和“到2030年力争全国水环境质量总体改善，水生态系统功能初步恢复，到本世纪中叶，生态环境质量全面改善，生态系统实现良性循环”的工作目标。并指出要提升水生生物监测支撑能力、提高环境监管能力。

(2)《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)正在修订,修订的一个重要改变是将重点考虑水生生物指标纳入环境质量标准,明确水生态环境管理的生物学目标。

(3)《国务院办公厅关于加强长江水生生物保护工作的意见》(国办发〔2018〕95号)第二十二条规定:“健全生态环境监测技术装备体系、标准规范体系和运行保障体系,提升水环境监测、水生生物监测及环境风险防控技术支撑能力。到2020年,建成覆盖长江重要栖息地的物种及生境监测网络,建立监测公报发布制度。”

(4)全国人大环资委组织召开的长江保护法立法座谈会上,提交的《长江保护法》(建议稿)也将水生态及水生生物保护纳入其中。

(5)2019年,生态环境部办公厅印发的《长江及重要支流水生态环境质量监测方案(试行)》的函(环办监测函〔2019〕637号)中明确提出“为全面贯彻落实习近平总书记关于长江经济带发展的重要指示精神和深入推动长江经济带发展座谈会精神,全力了解和掌握长江及重要支流水生态环境质量状况,推动长江流域上下游协同治理和水环境质量改善”将监测方案印发各相关省市厅局,认真落实监测任务。监测方案执行的目的:通过开展长江及重要支流水质和水生生物监测,客观反映其水生态环境质量状况,建立健全流域水生态环境监测和评价体系。

以上国家层面的各种法规和任务都指向开展水生态监测的紧迫性和必要性,本指南的制定将支撑以上监测任务的开展。

### 2.3 现行技术规范的实施情况和存在问题

目前未有相关现行技术规范。

2014年中国环境监测总站编制了《湖库水生态环境质量监测/评价技术指南(试行)》等4项技术文件,并下发至各地方监测部门试用。目前已经在太湖、丹江口水库等流域进行了应用。本指南基于以上技术文件,根据适用反馈的情况,对技术细节进行详尽的完善和修改而成。重点主要针对监测目标、湖库形态大小、内部生境结构等,修改完善点位设置、生境及水质调查、生物(大型底栖无脊椎动物、浮游植物、浮游动物及大型水生植物)现场采样技术内容,进一步完善评价方法内容。

## 3 国内外研究进展

欧美发达国家开展湖库水生态环境质量监测和评价较早,形成了较为成熟的以生态完整性理论为支撑的用于环境管理的规范方法。在国内,国家层面的相关工作起步晚,目前可参考的文件有限。为全面衡量湖库水生态系统结构、功能、关系的状况,欧美发达国家开展水生态环境质量状况的监测评价主要涉及的要素包涵水质理化指标、水生生物状况、水文物理特征几方面。目前,国内在总量管理、流域管理、风险管理、生态管理方面都对水生态环境质量监测和评价有迫切的需求。在总量管理中,随着污染物减排的落实,管理者迫切需要了解减排的生态效应和效益;在流域管理中,“一湖一策、一河一策”政策及流域水生态功能分区的实施需要清晰的水生态信息的支撑;在风险管理中,也需要说清湖库短期及中长期水生态风险;在生态管理中,随着水质目标管理向生态目标管理的转变,完全需要水生态环境质量监测和评价技术规范的支持,当前国内相关部门及单位已以欧美先进技术为蓝本开

展这方面的工作，形成了一些初步的技术规范。

### 3.1 国外相关规范指南的研究进展

欧美发达国家水环境和水资源实施生态目标管理，水生态环境质量监测与评价技术体系是 20 世纪 90 年代以来西方发达国家兴起的流域综合管理的技术手段，不仅可以对水生态环境进行系统的生态完整性监测和评价，说清水生态状况与变化，还可对水生态问题进行诊断、对水生态风险进行评估，从而提出结构调优、管理监督、工程修复的对策措施，同时，这些水生态环境质量的监测与评价还可反馈环境治理的效果。是水生态系统管理的重要内容。

欧盟水框架指令（Water Framework Directive）<sup>[1]</sup>第二款第 17 条明确了水质状况由水生态状况和水化学状况决定，而第 21 条明确了水生态状况监测评价的具体内容，其中生物指标为核心内容，并要求其成员国在 2015 年前使其水域的生态状况都达到“良好”的状态（图 1）。

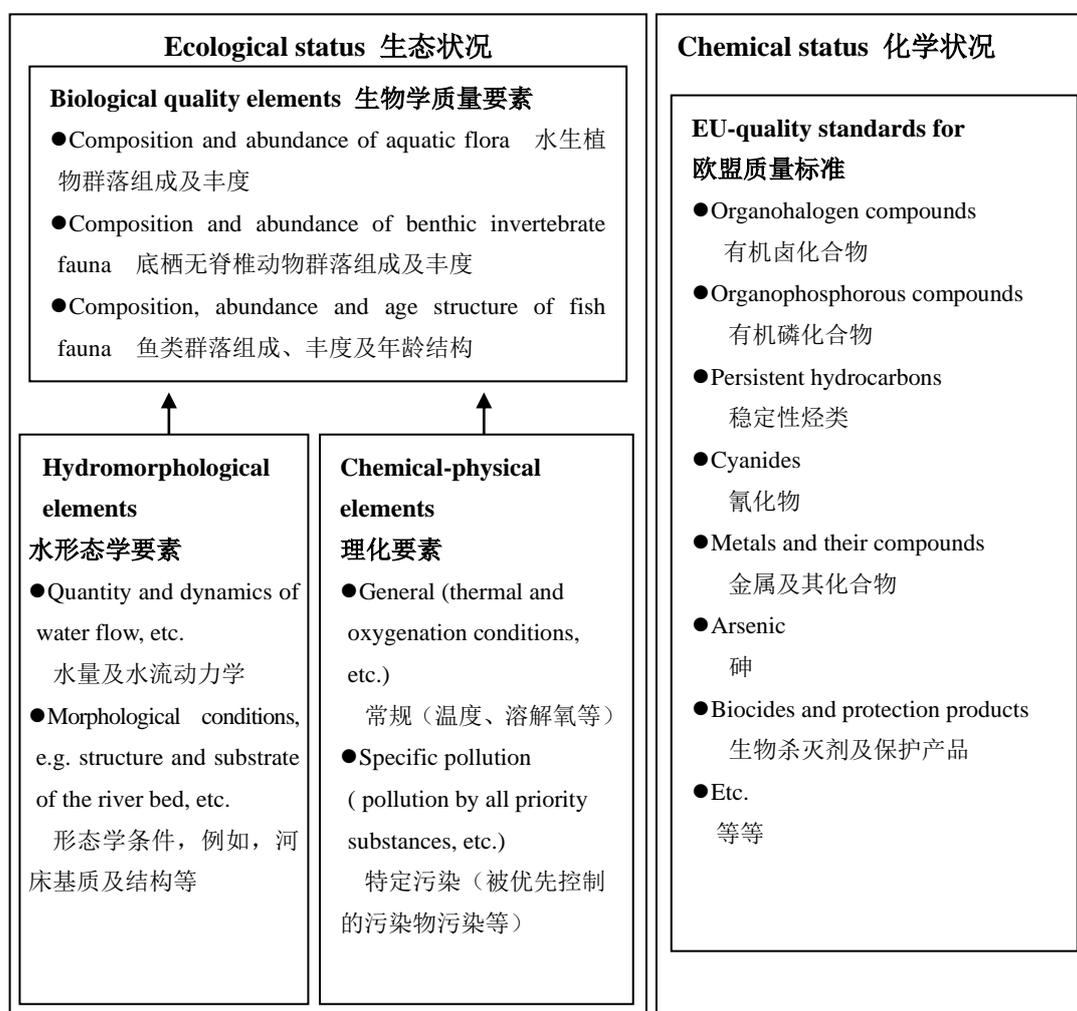


图 1 欧盟的地表水生态评价框架

欧盟的水质管理直接以水生态保护为目标，其评价等级划分为五级（优、良、中、差、劣），以水生生物为核心，各评价要素以最差的为准，一个不达标则整体不达标。

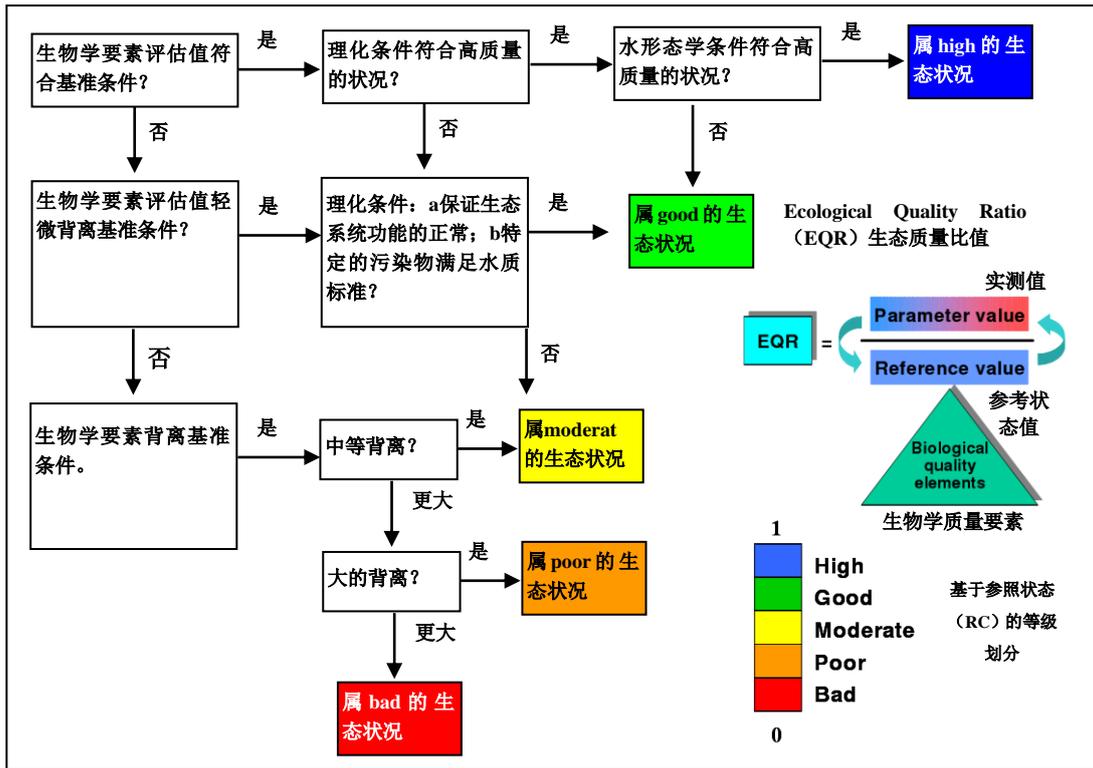


图 2 生态状况等级的划分

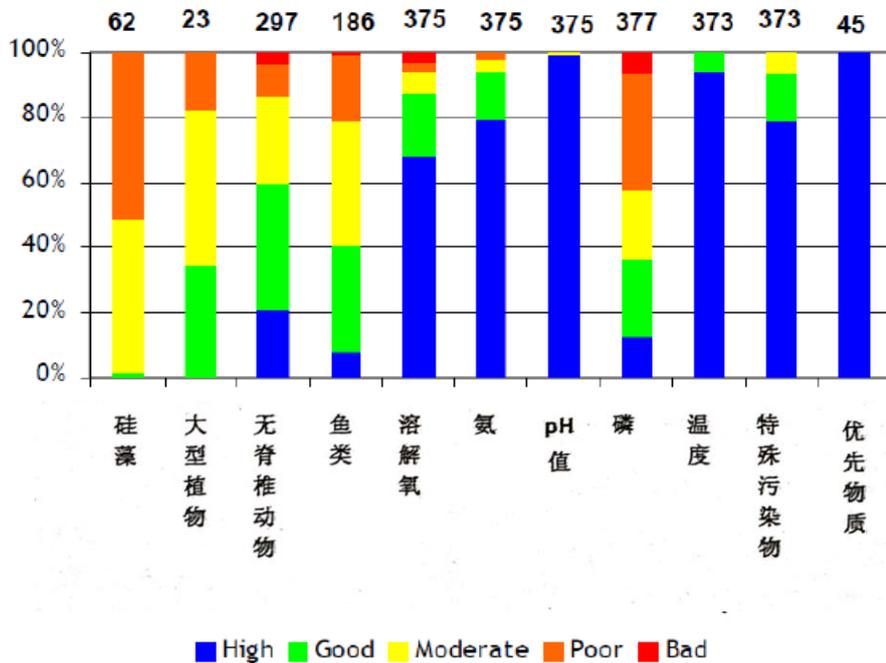


图 3 欧盟水质和生物各要素评级的案例

图 3 给出了欧盟各要素评价的一个统计结果，从中可以看出水生生物指标普遍比水质化学指标敏感，水生态状况往往取决于水生生物状况。

美国清洁水法 (Clean Water Act) [2] 第 101 部分第 1 条表明该法的目标是恢复和维持国家水体化学、物理、生物的完整性即生态完整性 (最终目标)。第 101 部分第 2 条明确“只

要可能，就要实现对鱼类、贝类及野生生物生存和繁衍的保护，实现人们在水上及水中的娱乐”（阶段目标，设定的功能用途可达）。《生物评价及基准政策》<sup>[3]</sup>（Policy on the Use of Biological Assessments and Criteria in the Water Quality Program）认为，生物完整性是总的生态完整性中深刻的指标，它既可作为一个重要的目标又可作为直接与该法的综合目标相关的环境状况的度量。《Biological Assessments and Criteria : Crucial Components of Water Quality Programs》（EPA 822-F-02-006）<sup>[4]</sup>认为，生物评价反映了生态完整性的总体情况（即，当生物学是健康的，通常水体的化学和物理构成也是良好的），因此，生物评价可直接评估作为“清洁水法”根本目标的生态系统健康的状况。水生态环境监测评价以生态完整性为基础进行，生态完整性包括生态系统结构、功能、关系的完整。

美国水生态监测与评价的指标体系与欧盟类似，均包括生物、生境、水质指标，以下是 Ohio 州的案例。

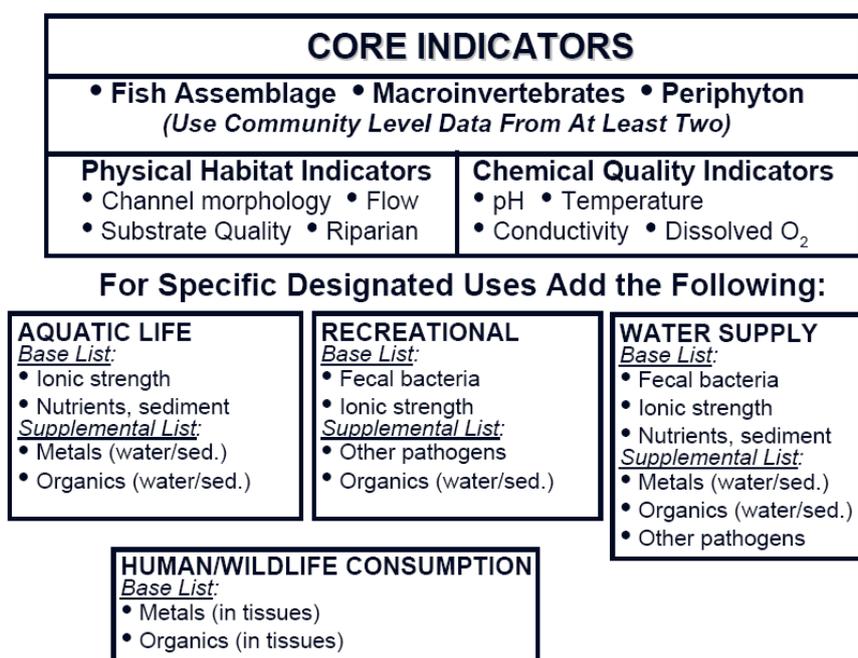


图 4 俄亥俄州水生态监测与评价指标案例

俄亥俄州水生态监测与评价指标案例在美国水生态环境质量监测与评价在环境监测和管理中具有重要的作用和地位，美国 EPA 俄亥俄州水环境生物监视与化学评价的比较表明有 58%的情况结论一致，36%的情况是生物评价认为有损害而化学评价认为无损害，6%的情况是生物评价认为无损害而化学评价认为有损害。可见，生物监测对环境损害的检出有更高的覆盖，这与欧盟的情况一致，脱离生物监测就有可能有接近 40%的环境损害漏检，这从一个侧面反映了生物监测的作用和重要性<sup>[5]</sup>。

水生态健康评价特别是水生生物评价为复合型水质问题的管理提供了至关重要的信息，一般而言，达到了生物完整性的要求就意味着良好的水体健康状况。水生生物评价已应用于美国环境管理的各个领域（图 5）<sup>[4]</sup>。

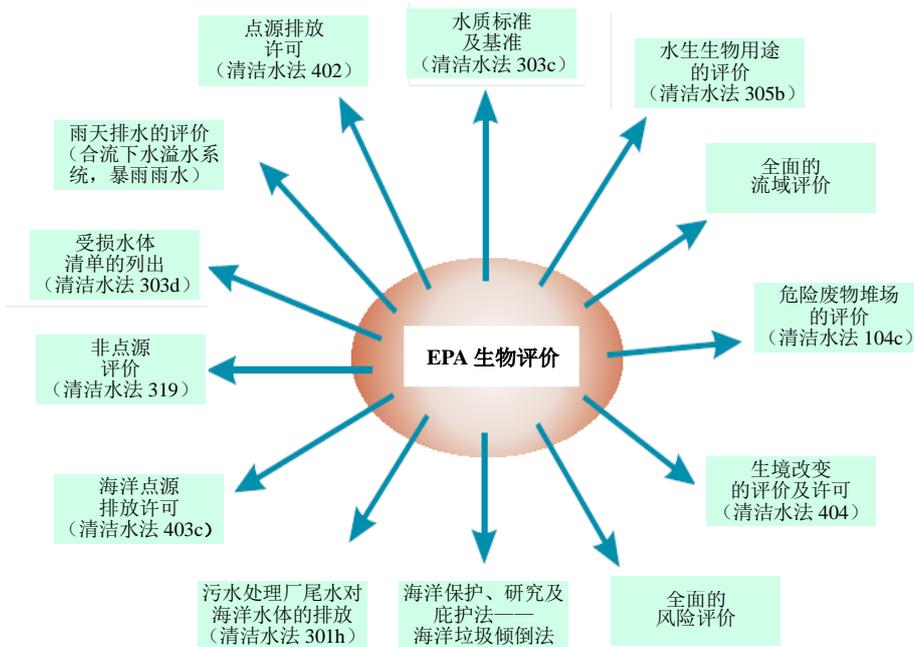


图 5 美国环保署水环境生物评价领域

美国环保局有关水生态监测与评价特别是生物监测与评价的规范主要有：

《Policy on the Use of Biological Assessments and Criteria in the Water Quality Program》<sup>[3]</sup>（水质项目中生物基准及生物评价使用的政策）；

《Biological Criteria: National Program Guidance for Surface Waters》<sup>[5]</sup>（地表水生物基准国家项目指南）；

《Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria, Technical Guidance Document》<sup>[6]</sup>（湖泊和水库生物基准及生物评价技术指南）；

《Rapid Bioassessment Protocols for Use in Wadeable Streams and Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish, 2nd edition》<sup>[7]</sup>（河溪快速生物评价规程：着生生物、大型底栖无脊椎动物、鱼类 第二版）；

《Summary of Biological Assessment Programs and Biocriteria Development, Streams and Wadeable Rivers》<sup>[8]</sup>（河溪生物基准发展及生物评价项目概要）；

《Development of a Standardized Large River Bioassessment Protocol (LR-BP) for Macroinvertebrate Assemblages》<sup>[9]</sup>（标准化大河生物评价规程的发展——大型底栖无脊椎动物）；

《Estuaries and Coastal Marine Waters Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance》<sup>[10]</sup>（河口及沿海水体生物基准及生物评价技术指南）；

《Wetland Bioassessment Fact Sheets》<sup>[11]</sup>（湿地生物评价）；

《Stressor Identification Guidance》<sup>[12]</sup>（环境胁迫识别指南）。

EPA 组织各州及地方政府开展国家水资源调查（The National Aquatic Resource Surveys, NARS），这一调查旨在评估国家沿海水域、湖库、河溪以及湿地的状况和质量变化，这些调查提供了全国水体状况的总的快照。调查采用标准化的现场和实验室方法，可以比较来自

不同地区和不同年份的调查结果。国家湖泊（包括湖泊、池塘和水库）评价（National Lakes Assessment, NLA）是四个独立调查任务中的一个，它旨在提供有关湖泊水生态状况及变化的信息，以维持健康的水生态状况和人类活动的安全，评估影响湖泊水生态质量的主要胁迫因素及程度并持续治理和改善环境质量。NLA 项目每五年一个周期，提出的主要技术规范有：

《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》<sup>[13]</sup>；  
《2012 National Lakes Assessment--Laboratory Operations Manual (EPA 841-B-11-004)》<sup>[14]</sup>；  
《2012 National Lakes Assessment--Site Evaluation Guidelines (EPA 841-B-11-005)》<sup>[15]</sup>；  
《2012 National Lakes Assessment--Quality Assurance Project Plan (EPA 841-B-11-006)》<sup>[16]</sup>；  
《National Lakes Assessment 2012 - Technical Report (EPA 841-R-16-114 April 2017)》<sup>[17]</sup>；  
《National Lakes Assessment-Technical Appendix--Data Analysis Approach (EPA 841-R-09-001a)》<sup>[18]</sup>。

其指标体系为：

营养水平指标——水温、溶解氧、水化学指标、营养盐浓度、叶绿素 a、透明度、浊度和色；

生态完整性指标——大型底栖无脊椎动物、底栖硅藻、浮游植物、浮游动物、大型水生植物、滨岸生境条件；

人体健康指标——病原体指示、藻类毒素、沉积物中汞含量等。

这些指标将用于评价湖泊的生态状况、营养状态和人类娱乐活动的潜力。抽样调查将在所有地点采用一致的规程进行，以确保结果能够在全国各地进行比较。

2012 年度该项目评估的结论是<sup>[19]</sup>：

(1) 营养盐污染在美国全国普遍存在，约 1/3 的湖泊（35%）有过量的氮，2/5 的湖泊（40%）有过量的磷。

(2) 水生生物状况方面，31%的湖泊底栖大型无脊椎动物群落已经退化，分析表明，营养物质与生物状况之间存在关联，高磷湖泊底栖大型无脊椎动物群落退化的可能性比磷水平正常的湖泊高 2.2 倍，高氮湖泊底栖大型无脊椎动物群落退化的可能性比氮水平正常的湖泊高 1.6 倍。

(3) 在 9%的湖泊中检测到微囊藻毒素，但浓度很少达到世界卫生组织确定的中度或高度关注水平（<1%的湖泊）。

(4) 在 30%的湖泊中检测到除草剂阿特拉津，但浓度很少达到对淡水水生植物产生影响的水平（<1%的湖泊）。

对 2012 年和 2007 年评估的比较表明，调查之间变化不大。在大多数情况下，在这五年期间，生物、化学和物理状况处于退化湖泊的百分比没有变化，只有几个明显的例外：

(1) 水位下降生境受损严重的湖泊 2012 年比 2007 年减少了 13%。

(2) 蓝藻暴发藻毒素暴露风险高的湖泊 2012 年比 2007 年增加了 8.3%。

(3) 有 9.5% 的湖泊 2012 年比 2007 年微囊藻毒素增加, 但浓度仍然很低, 很少超过世界卫生组织关注的水平。

(4) 低磷湖泊的数量在减少, 2012 年比 2007 年少 18.2%。

美国湖泊水生生物指标的开发借鉴了溪流水生生物完整性指标构建的方法, 依据《Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria, Technical Guidance Document》(EPA 841-B-98-007) 及《National Lakes Assessment 2012 - Technical Report》(EPA 841-R-16-114 April 2017) 等 National Lakes Assessment 有关技术文件的介绍, 湖库生物基准的构建及执行、水生生物完整性指标或多度量生物指数 (Multi-metric Index, MMI) 筛选等主要步骤如下:

(1) 对湖库进行初步的分类分区。依据湖泊大小、深度、形态或流域特征等与污染或人类干扰无直接关系的要素对湖泊进行分类分区, 初步建立不同的分类分区 (可以是生态区、生态亚区或特定的区域等等), 在同类湖库或同类区域中选择一组受人为影响最小的点位作为参照点位, 表征该类湖库或该区域基本的背景生态状况, 目的是为在同类湖库或同一区域中构建相对稳定、精准、对胁迫损伤有较好分辨的生物基准。同时, 应进行多部门间合作, 建立相关管理共同的参照状态、评价方法和评价指标。

(2) 开展生物调查。在同类湖库或同一个分区中, 使用标准化的现场采样方法对可寻获的最佳环境质量站点以及已知受损的站点进行生物群落和物理栖息地的调查, 判断各生物指标对环境胁迫梯度响应的分辨能力。

(3) 确定湖库最终的分类分区。用调查得到的生物数据对初建的分类分区进行测试, 同类湖库或同一分区应有共同的生物区系, 其参照状态生物数据的差异应最小化, 参照状态生物数据的差异应反映分类分区的差异, 在全国范围或更广泛的范围内, 参照状态可以有很大的差异。如有必要, 可对分区进行修订。

(4) 筛选潜在的指标并构建生物评价指数。首先, 尽可能多地选出与生态相关的潜在指标, 根据对参照点位和受损点位的生物调查数据, 分析评估潜在指标对参照状态和受损状态响应的区分能力, 剔除区分能力差的指标, 优化区分能力强的指标, 将最终选定的指标的测量值转化为分数, 这些分数通常被纳入结合为一个多度量生物指数, 例如生物完整性指数 (IBI), 也可以选择单一的生物指标作为最终进行生物评价的指数。

(5) 建立生物评价的基准。可将参照状态相应评价指数的第 25 百分位数值作为生物评价的基准值 (该类指数越大生态状况越好), 高于该值, 则生物状态为优。应始终保留生物调查的原始信息和数据, 以便对指数进行改进和校准, 并随着时间的推移而保持信息的连续性。

(6) 生物监测和生物评价计划的实施。生物基准是搞清水生态环境状况及趋势的基础, 制订具有操作性的生物监测及生物评价计划, 评估潜在受损的水体, 持续监测选定的参照点位, 确定季节和年度的变化以及发展趋势。监测和评价所涉及的内容如下:

- A QA/QC;
- B 野外和实验室数据质量目标 (Data Quality Objectives, DQOs);
- C 野外和实验室监测分析方法 (SOPs);
- D 人员的培训及经验的积累, 人员的配置和分工;

E 样品采集、样品处理、生物分类鉴别、生物计数、生物量测定、数据分析与解释等方法的核准；

F 充足的办公场所和物质设施；

G 先进的野外设备、实验室仪器及常规用品；

H 安全程序；

I 在样品采集和分析中使用平行样来确定精密度；

J 野外和实验室仪器的定期校准和记录；

K 样品识别、处理、记录及保管的程序，防止样品的误识、混淆和混杂；

L 发展和使用生物分类鉴定参考资料库（检索表、生物志、图谱、图片等等），将生物标本鉴别到尽可能低的分类级别；

M 发展并使用参考标本库（作为生物分类鉴定的实物比对依据），也可通过外部专家解决标本鉴定中的难题；

N 数据录入电脑及用于报告前，仔细处理数据；

O 使用适当的统计分析方法、数据评价方法并解释相关关系；

（7）保护和治理。以生物状况为导向，识别和诊断水生态环境问题，通过调整湖库周边土地利用、污染负荷、湖内开发等强度，改善退化的湖库，保护生态良好的湖库免受今后的损害，这是一个长期的过程。

（8）持续监测和定期评估。生物基准-生物监测工作是一个持续的过程，不断总结成功和失败的经验，改进监测和管理工作，循序渐进提升水生态环境质量。

### 3.2 我国相关规范指南的研究进展

为贯彻落实党中央和国务院让江河湖泊休养生息的要求，加强流域生态环境保护，维护流域生态系统的健康，原环境保护部自然生态保护司 2012 年 10 月下发了《关于开展流域生态健康评估试点工作的通知》（环办函[2012]1163 号），编制了《流域生态健康评估技术指南》<sup>[20]</sup>，调查内容包括水域生态系统、陆域生态系统两部分。水域生态健康评估指标主要包括生境结构、水生生物和生态压力三类（权重 0.4）；陆域生态健康评估指标主要包括生态格局、生态功能和生态压力三类（权重 0.6）。指南中规范了流域健康评估指标体系和赋分标准（表 1）。

表 1 流域生态健康评估指标体系

评估对象	指标类型	评估指标	指标权重
水域	生境结构（0.4）	水质状况指数（%）	0.4
		枯水期径流量占同期年均径流量比例（%）	0.3
		河道连通性	0.3
	水生生物（0.3）	大型底栖动物多样性综合指数	0.4
		鱼类物种多样性综合指数	0.4
		特有性或指示性物种保持率（%）	0.2
	生态压力（0.3）	水资源开发利用强度（%）	0.5
		水生生境干扰指数	0.5

水生态环境质量是流域生态健康状况的重要表征指标,水质的优劣直接影响水生生物的生存和人体自身健康。流域水环境状况调查主要是针对水环境的各类理化指标进行水质监测,反映流域水质状况和受污染程度。该指南针对于水环境质量状况的调查依据地表水环境质量标准(GB 3838)表一规定的 24 个项目进行。

为了促进河湖水生态健康管理及保护工作,水利部编写了《河湖健康评估技术导则》,该导则适用于河流(不包括入海河口)、湖泊及水库的健康评估,其中健康评估指标体系见表 2。

《河湖健康评估技术导则》<sup>[21]</sup>根据各评估指标综合赋分,采用百分制,将河湖健康评估标准分为 5 级:非常健康、健康、亚健康、不健康、病态,见表 3。

表 2 河湖健康评估指标体系表

目标层	完整性准则层	指标层						河长制任务准则层	指标类型
		河流		湖泊		水库			
河湖健康	水文水资源	水资源开发利用率		水资源开发利用率		水资源开发利用率		水资源保护	基本指标
		流量过程变异程度		入湖流量变异程度		入库流量变异程度		水资源保护	备选指标
		生态用水满足程度		最低生态水位满足程度		下泄生态基流满足程度		水资源保护	基本指标
		水土流失治理程度		水土流失治理程度		水土流失治理程度		水生态保护	基本指标
	物理结构	河岸带状况	河岸带稳定性指标	湖岸带状况	湖岸带稳定性指标	库岸带状况	库岸带稳定性指标	水域岸线保护	备选指标
			河岸带植被覆盖度指标		湖岸带植被覆盖度指标		库岸带植被覆盖度指标	水域岸线保护	基本指标
			河岸带人工干扰程度		湖岸带人工干扰程度		库岸带人工干扰程度	水域岸线保护	基本指标
		河流纵向连通性指数		湖库连通指数		湖库连通指数		水域岸线保护	基本指标
		天然湿地保留率		湖泊面积萎缩比例		库容淤积损失率		水生态保护	基本指标
		水质	入河排污口布局合理程度		入湖排污口布局合理程度		入库排污口布局合理程度		水污染防治
	水体整洁程度		水体整洁程度		水体整洁程度		水污染防治	基本指标	
	水质优劣程度		水质优劣程度		水质优劣程度		水污染防治	基本指标	
			富营养化状况		富营养化状况		水污染防治	基本指标	
	底泥污染状况		底泥污染状况		底泥污染状况		水污染防治	备选指标	
	生物	水功能区达标率		水功能区达标率		水功能区达标率		水资源保护	基本指标
				浮游植物密度		浮游植物密度		水生态保护	备选指标
				浮游动物生物损失指数				水生态保护	备选指标
				大型水生植物覆盖度				水生态保护	备选指标
		大型无脊椎动物生物完整性指数		大型无脊椎动物生物完整性指数				水生态保护	备选指标
	社会服务功能	鱼类保有指数		鱼类保有指数		鱼类保有指数		水生态保护	基本指标
		公众满意度		公众满意度		公众满意度		社会服务	基本指标
		防洪指标		防洪指标		防洪指标		社会服务	基本指标
		供水指标		供水指标		供水指标		社会服务	基本指标
			航运指标		航运指标		社会服务	备选指标	

表 3 河湖健康评估分级

评估分级	赋分范围 (HI)
非常健康	$80 \leq HI \leq 100$
健康	$60 \leq HI < 80$
亚健康	$40 \leq HI < 60$
不健康	$20 \leq HI < 40$
病态	$0 \leq HI < 20$

目前,我国河流水生态环境质量综合评估,主要通过河流健康评估指标综合评估,通过指标的加权求和,构建综合评估指数的路线来进行。

江苏省政府 2016 年 4 月印发《江苏省太湖流域水生态环境功能区划(试行)》<sup>[22]</sup>、《太湖流域(江苏)水生态健康评估技术规程(试行)》<sup>[23]</sup>等技术文件,其中采用水生态健康综合评价方法进行水生态环境质量现状评价,建立的评估指标体系和分级标准见表 4 和 5。

综上所述,国内针对河流水生态环境质量监测时,方法多样,除传统的水质理化指标的监测,还增加了多种要素(生境要素、生物要素)综合监测,尤其是根据水生生物的特点进行水环境的特定监测,最终得到全面的水生态环境质量。

表 4 太湖流域(江苏)水生态健康评估指标体系

水生态健康指数	生物指数	湖库淡水浮游藻类完整性指数(P-IBI)	总分类单元数得分 (Py <sub>1</sub> )	总分类单元数为生物丰富度指标(Richness Metrics),生态状况较好时总分类单元数较高,单位:个	物种鉴定一般到属或种水平,优势种尽可能到种,对于门、纲、目、科、属等较高分类等级的情况,至少区分为不同的种类。
			生物密度得分 (Py <sub>2</sub> )	样品中藻类细胞生物密度为生物构成指标(Composition Metrics),生态状况较好时生物密度往往较低,单位:个/L	/
			前 3 位优势种优势度得分 (Py <sub>3</sub> )	样品中藻类优势物种优势度为生物构成指标(Composition Metrics),生态状况较好时优势物种优势度较低,单位:%	$Py_3 = N_{max3}/N$ $N_{max3}$ — 前 3 位优势种总细胞密度 N — 全部物种细胞密度
	淡水大型底栖无脊椎动物完整性指数(B-IBI)	软体动物分类单元数得分 (B <sub>1</sub> )	软体动物分类单元数为生物丰富度指标(Richness Metrics),生态状况较好时软体动物分类单元数较高,单位:个	物种鉴定要求同 Py <sub>1</sub>	
		第 1 位优势种优势度得分 (B <sub>2</sub> )	优势物种优势度为生物构成指标(Composition Metrics),生态状况较好时优势物种优势度较低,单位:%	$B_2 = N_{max}/N$ $N_{max}$ — 第 1 优势种的生物密度 N — 全部物种的生物密度	
		BMWP 指数得分 (B <sub>3</sub> )	BMWP 指数为生物耐污/敏感性指标(Tolerance/Intolerance	$B_3 = \sum ti$ , $ti$ — 第 $i$ 科 BMWP 分数(具体见附录	

			Metrics), 生态状况较好时 BMWP 指数值较高, 无量纲	1)
水质 指 数	湖库综合 营养状态 指数 (TLI)	叶绿素 a 得分(T <sub>1</sub> )、 透明度得分(T <sub>2</sub> )、高 锰酸盐指数得分 (T <sub>3</sub> )、总磷得分(T <sub>4</sub> )、 总氮得分(T <sub>5</sub> )	水质好时, 透明度高(单位: m), 叶绿素 a(单位:mg/m <sup>3</sup> )、 高锰酸盐指数、总磷、总氮低 (后三个指标单位: mg/L)	/
	河流综合 污染指数 (P)	溶解氧得分(P <sub>1</sub> )、氨 氮得分(P <sub>2</sub> )、高锰酸 盐指数得分(P <sub>3</sub> )、总 磷得分(P <sub>4</sub> )、总氮 得分(P <sub>5</sub> )	水质好时, 溶解氧高, 氨氮、 高锰酸盐指数、总磷、总氮低, 各指标单位 mg/L	/

表 5 太湖流域(江苏)归一化水生态健康指数分级标准

等级划分	颜色表征	分级标准
优	蓝色	[ 0.95, 1 ]
良	绿色	[ 0.71, 0.95 )
中	黄色	[ 0.48, 0.71 )
一般	橙色	[ 0.24, 0.48 )
差	红色	[ 0, 0.24 )

### 3.3 本技术指南与国内外相关方法标准规范的关系

本技术指南是对我国湖库水生态环境质量监测与评价的规范,我国湖库水生态环境复杂而脆弱,随着水资源利用和污染的加大,多数湖库都出现了不同程度的富营养化、水华暴发、水生生物多样性降低和水生生物栖息地退化等问题,监测和评价我国湖库水生态质量已经成为我国环境保护工作的一个重要内容。2014 年启动该技术指南的修订工作,本技术指南依据国外的相关标准,结合我国湖库水生态监测状况、生物地理区系和历史监测数据的实际情况规定了湖库水生态质量监测中大型底栖无脊椎动物、浮游植物、浮游动物、大型水生植物的野外采样方法、保存方式、实验室内鉴定方法,生境调查方法,参照点位的确定以及质量保证和质量控制的要求,本次修订的目标是形成一部相对成熟、覆盖全面、指向明确、适用性强、具有总体指导性的湖库水生态监测与评价技术规范。这次技术指南的修订主要参考 2014 版《湖库水生态环境质量监测技术指南》、美国 NLA 系列文件及《Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria: Technical Guidance Document》(EPA 841-B-98-007),同时还参考《河湖健康评估技术导则》以及其他相关资料。

## 4 技术指南制订的基本原则和技术

### 4.1 指导思想

本指南的编制和规定的技术内容,本着服务于《水污染防治行动计划》(“水十条”),服务于国家层面现阶段和一段时期内湖库水生态监测的任务和管理目标的实现制定。为实现

“水十条”对于到 2020 年：“区域水生态环境状况好转”和“到 2030 年力争全国水环境质量总体改善，水生态系统功能初步恢复，到本世纪中叶，生态环境质量全面改善，生态系统实现良性循环”的工作目标。实现水环境管理目标从“污染防治”向“水生态健康”转变。支撑《国务院办公厅关于加强长江水生生物保护工作的意见》（国办发〔2018〕95 号）第二十二项规定：“健全生态环境监测技术装备体系、标准规范体系和运行保障体系，提升水环境监测、水生生物监测及环境风险防控技术支撑能力。到 2020 年，建成覆盖长江重要栖息地的物种及生境监测网络，建立监测公报发布制度。”的要求，以及《长江及重要支流水生态环境质量监测方案（试行）》的函（环办监测函〔2019〕637 号）“为全面贯彻落实习近平总书记关于畅想经济带发展的重要指示精神和深入推动长江经济带发展座谈会精神，全力了解和掌握长江及重要支流水生态环境质量状况，推动长江流域上下游协同治理和水环境质量改善”，要求各相关省市厅局认真落实监测任务的工作需要。在以上国家相关管理和监测任务要求下，开展本指南技术内容的编制。实现水质目标管理向水生态目标管理转变。

## 4.2 基本原则

### 4.2.1 科学实用原则

结合湖库生态环境实际情况，注重水生生物栖息地的选择，遵循水生生物生存规律，确保水生生物监测结论客观反映水质状况，为水环境综合评价提供科学依据。

### 4.2.2 因地制宜原则

各地可根据当地的自然、地理特征，充分考虑自身的水文、气候特征，选择采样工具、方法、基质和采样量，也可根据工作目的选择监测频次、方法和监测项目。

### 4.2.3 循序渐进原则

指南遵从难以兼并的原则，既可以指导基础薄弱的人员开展水生态监测工作，也可以指导有一定生物经验的监测人员根据不同的评价目的开展完整性评价和长期跟踪监测。

## 4.3 技术路线

本指南的制定在总站承担的水专项“流域水生态环境质量监测与评价研究”课题（2013ZX07502001）研究成果和流域示范应用基础上开展的。该课题是以建立综合有效的流域水生态环境监测与评价技术体系为目的，基于欧盟和美国先进的方法和国内相关部门国家层面现有的监测导则、规范等技术资料，重点研究具有共性和可操作性的关键技术，从而建立了一套涵盖物理生境、水生生物、水体理化等指标的湖库水生态环境质量监测与评价技术体系，从而编制形成了 4 项技术文件。该技术文件由总站与 2014 年印发监测系统试行，经过在太湖、镜泊湖、丹江口水库、滇池洱海等流域的应用后，积累了很多经验和反馈，根据应用反馈的技术问题，有针对性的对以上技术文件进行了完善和补充，从而编制形成了本技术指南文本。

在本次规范修订中，编制组有所侧重地参照国外的相关技术文件，也充分考虑我国湖库水生态监测与评价的实际开展情况和业务发展需求，形成以生物要素监测为核心，涵盖生境

和水质的监测和评价的技术方法，细化采样方法、丰富监测生物类群、明确评价等级，确保切实规范生物监测过程各监测步骤的要点和质量控制和质量保证要求，有效地支撑和开展湖库水生态环境的监测工作。

## 5 技术指南的主要内容

### 5.1 适用范围

本标准规定了湖库水生态环境质量监测中监测要素、水环境质量监测、生境调查、水生生物监测、质量保证和质量控制、湖库水生态环境质量评价的相关指数和计算方法，以及湖库水生态环境质量状况的评价等级。本标准适用于淡水湖泊和水库水生态环境质量监测和评价。

### 5.2 规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。凡未注明发布年份的引用文件，其有效版本适用于本指南。

GB 3838 地表水环境质量标准

GB/T 14581 水质 湖泊和水库采样技术指导

HJ 493 水质采样 样品的保存和管理技术规定

HJ 494 水质 采样技术指导

HJ 495 水质 采样方案设计技术规定

HJ/T 91 地表水和污水监测技术规范

### 5.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

#### 5.3.1 湖泊 Lake

陆地上洼地积水形成的水域宽阔、水量交换相对缓慢的水体。

#### 5.3.2 水库 Reservoir

在湖道、山谷、低洼地有水源或可从另一湖道引入水源的地方修建挡水坝或堤堰，形成的蓄水场所；或在有隔水条件的地下透水层修建截水墙，形成的地下蓄水场所。

#### 5.3.3 水生态环境质量 Water Eco-environment Quality

以生态学理论为基础，在特定的时间和空间范围内，水体不同尺度生态系统的组成要素总的性质及变化状态。

#### 5.3.4 生境 Habitat

又称栖息地，指生物的个体、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。

#### 5.3.5 参照状态 Reference Condition

代表水域内未受人为干扰或所受人为干扰较小的最优生物及生境状态。

#### 5.3.6 参照点位 Reference Site

能够代表水域内未受人为干扰（或所受人为干扰较小）生物及生境状态的点位。

### 5.3.7 生物指数 Biotic Index (BI)

基于特定类群的相对丰度，并与其敏感性或耐受性结合而成的单一指数或记分值。

### 5.3.8 生物完整性 Biological Integrity

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

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

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

## 5.4 监测要素

本指南在监测要素部分，包含了监测频次和时间（包括频次和时间的一般原则、监测频次、监测时间 3 部分），点位设置（包括设置的原则、设置方法），参照环境的确定（包括确定的原则及确定方法）三项内容。综合国内外野外采样分析的方法，在原《湖库水生态环境质量监测技术指南（试行）》的基础上，依据指南（试行）在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库浮游植物监测的工作经验，综合参考吸纳美国 National Lakes Assessment《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》，编制形成湖库水生态环境质量监测背景调查与点位布置的内容，具有以下特点：

- （1）明确了监测频次和时间的一般原则。
- （2）明确了点位设置的原则和方法。
- （3）确定了湖库监测点位周边 100 m 的范围内为该点位的采样区域。
- （4）提出了湖库参照点位确定的原则和方法。

### 5.4.1 监测频次和时间

#### 5.4.1.1 一般原则

充分考虑水域环境条件、生物类群的时空分布特点、调查目的及人力、费用投入，确定监测频次和监测时间。

（1）生物监测应依据生物的生命周期、生活史特征（如羽化期或繁殖期）、季节变化特征、调查目的等因素确定监测频次，避开雨水集中时期，选择合适的采样时间；针对污染性事故的监测频率必须同时考虑污染物影响的严重程度、持续时间，以及各生物类群的生命周期及恢复能力。

（2）确保整个湖库调查结果在时间上的统一性，对湖库各区域在同一时期开展监测，尽量缩短各个监测位点的时间跨度。

#### 5.4.1.2 监测频次

生物群落至少每年监测 2 次。大型底栖无脊椎动物（以下简称底栖动物）和大型水生植物生命周期长，属于中长期影响指标，建议根据水期或季度开展监测。浮游植物和浮游动物

生命周期短，季节演替明显，建议按月或季度开展监测。

生境原则上每年调查 1 次，湖岸带植被随季节变化显著，建议每次监测时同时开展调查。当调查中发现生境受到人为干扰或特殊自然环境变化的影响时及时开展跟踪调查。

水质理化监测可与生物采样同时进行，也可在生物采样时间附近单独进行。水质理化监测的时间频次要求按照 HJ/T 91 相关要求执行。

#### 5.4.1.3 监测时间

按年度监测，一般选择 2 个以上不同水期（丰水期、平水期、枯水期）进行；按季节监测，分别在春、夏、秋、冬季进行；按月度监测，每月 1 次。

注：（1）若进行季度或月度监测，各季或各月监测的时间间隔应尽量一致；（2）季节气候温度变化不明显的湖库水体可根据历史数据变化情况，减少监测频次，但不低于每年 2 次；（3）若监测时间无法满足实际采样需求，可根据湖库水文气候条件进行调整；（4）监测频次和时间应根据人为干扰或特殊自然环境变化的影响程度和时间进行调整。（5）除各类群监测内容有单独注明监测时间，按照本节内容确定监测时间。

#### 5.4.2 点位设置

本指南点位设置部分，包括了三项内容：设置原则，规范了点位设置中应遵循的四点主要原则；前期调查，提出了确定点位需开展的前期初步勘察和调查内容要求；在参考水利部《河湖健康评估技术导则（送审稿）》和 US EPA National Lakes Assessment《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual》中点位设置的一致要求进行编制。本指南明确提出基于湖库和区域的前期调查结果，根据监测任务目标、湖库面积大小、湖库水文特征、水环境质量等情况，确定监测点位及数量的总体方法。具体布设原则和方式，采用了目前两方法通用的方式。以上方法均采用了随机布点的基本思路和均衡布设的方法设置采样点位，本指南也参考了同样的布设原则。同时，每本指南根据目前我国湖库水功能和水体利用的一些规划特点，考虑在均衡地在监测范围内设置点位的前提下，提出点位布设应根据湖库形态和 水体功能，兼顾湖滨区、湖心区；出入河口区、滞流区、饮用水源地、鱼类产卵区、游览区等，这样可以充分体现点位对于湖库水体不同功能利用区的代表性。

在点位设置数量上，以上两个文件规定原则按照 10 个湖滨带点位设置，《河湖健康评估技术导则（送审稿）》也提出对于大型湖泊要适当增加点位。《National Lakes Assessment》的适用的湖泊为水域面积大于 1000 m<sup>2</sup>，水深大于 1 m 的湖泊，点位设置量对小型湖泊有针对性，而我国重点湖库如鄱阳湖、洞庭湖、丹江口水库、太湖等水域面积都达到 2000 km<sup>2</sup> 以上，10 个调查点位不能满足对大型湖泊监测的需求。参考《湖泊生态系统观测方法》中依据湖泊水域面积来确定设置点位数的方法，本指南提出根据湖泊水域面积布设点位的推荐参考条件。还针对特殊性湖库，如河道型或狭长型湖库，提出特殊的点位布设要求，即可参考河流的点位布设方法，以河段方式设置监测点位，这也是国内外通用的方式。根据以上思路将点位设置内容规定如下：

##### 5.4.2.1 设置原则

监测点位的设置取决于湖库水文特征、湖滨带生境状况、水环境质量以及生物群落特征，

以满足监测及评价目的为宗旨，需遵从以下原则：

- (1) 连续性原则：尽可能沿用历史观测点位，保持监测数据的连续性和数据的可比性。
- (2) 一致性原则：生物监测点位尽可能与水文测量、水质理化监测、生境调查点位相一致，尽可能获取足够信息，用于解释观测到的生态环境质量状况。
- (3) 代表性原则：监测点位的样品应具有足够的代表性；如果监测的目的是建立大范围、全面的流域水生生态质量调查，点位需覆盖整个流域范围；如果监测目的是针对性评估人为活动（挖沙、筑坝、建设水电站等）或者污染事故的影响，则需在受影响及可能受影响区域设置点位。
- (4) 可行性原则：在确保完成监测目的、确保必要的采样精度和样本量前提下，要兼顾调查采样的可实施性，以期用最少的断面和人力、物力、时间的投入获得最有效的数据。

#### 5.4.2.2 前期调查

选择监测点位前，需要对研究区域进行前期调查，全面了解研究区域湖库水文特征、生境状况、水环境质量、生物群落特征等相关信息。

- (1) 调查水文、气候、地质（包括沉积类型）、地貌资料，如水位、水量、换水周期、流速及流向的变化，降水量、蒸发量及历史水情变化。
- (2) 调查水体周围城市和人口分布、工业布局、污染源及其排污情况、城市给排水情况、农业灌溉排水情况和农药、化肥的使用种类、数量和使用时间，掌握污染物的时空分布，以便选择适当的采样时间，采样区域范围和界限。
- (3) 调查水体沿岸土地利用和水资源（包括森林、矿产、土壤、耕地、水资源）现状，特别是植被破坏和水土流失情况。
- (4) 调查水体功能区情况，各类用水功能区的分布，特别是饮用水源地分布和重点水源保护区。
- (5) 实地调查采样点的水深、交通状况和可到达性等。

#### 5.4.2.3 设置方法

基于湖库和区域的前期调查结果，根据监测任务目标、湖库形态、湖库面积大小、湖库水文特征、水环境质量等情况，确定监测点位数量和布设，初期监测点位参考设置数量见表6，大型湖泊应适当增加监测点位。长期监测点位数量可根据初期监测结果进行适当优化调整。考虑均衡地在监测范围内设置点位，根据湖库形态和水体功能，点位布设应兼顾湖滨区、湖心区；出入河口区、滞流区、饮用水源地、鱼类产卵区、游览区、纳污区等。河道型或狭长型湖库，可参考河流的点位布设方法，以河段方式设置监测点位。如果监测区域内有众多湖库构成湖库群，当对区域湖库作整体监测时，可适当减少单个湖库的监测点位。设置湖库监测点位周边 100 m 的范围内为采样区域。

表 6 湖库点位参考设置数量

湖库面积 (km <sup>2</sup> )	<50	50~500	500~1000	1000~2000	>2000
点位设置数量 (个)	3~10	10~15	15~20	20~30	30~50

### 5.4.3 参照点位的确定

参照状态是代表水域内未受人为压力干扰的最优生物状态。国外对于参照环境的确定方法多是基于原则性的规定,同时结合监测水体的实际情况来制定。参照状态有以下几种类型:历史环境表现为在人类干扰之前存在的生物环境或生物完整性的参照环境;最小干扰环境出现在受人类干扰最小或不受干扰的湖库水体中;最佳可达环境为将所有可用的最佳管理策略都应用上的理想条件;最少干扰环境引用最佳可用的现有条件。根据我国目前湖库水体的现状,很难找到处于历史的或最小干扰环境下,而大部分湖体已经受到水体污染压力及人为活动干扰,发生了彻底的改变。所以本指南主要提出以确定可获得的最优状态确定参照状态的原则和方法。这些方法是在我国各大流域水系的生物监测中常用的,如太湖、巢湖、洞庭湖等,被监测实践证明过的方法的科学性和可行性。具体内容规定如下:

#### 5.4.3.1 确定原则

- (1) 所选参照点位能反映未受干扰或干扰极小的生物群落、栖息地和水化学特征。
- (2) 所测定的人为产生污染物浓度应处于较低水平。
- (3) 所测定的非人为产生污染物浓度应保持在背景值水平范围。
- (4) 难以满足(1)至(3)的要求,经人为干扰变化较大的区域,可借助历史数据确立参照状态,或根据调查区域中可获得的最优状态建立参照状态。

#### 5.4.3.2 确定方法

采用参照位点法,在湖库水体自然环境调查基础上综合生境、水质和生物三要素定性和定量指标确定参照点位。具体指标如下:

- (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(如,湖(库)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。

### 5.5 水环境质量监测

湖库是流域的源和汇,反映汇水区域水质污染的程度,其优劣直接影响水生生物的生存状况和人体健康,是湖库水生态环境质量重要的表征指标。湖库水生态监测三要素中,水环境要素的监测和调查,生态环境监测部门已经制定了成熟的规范和规定,如《水质 采样方案设计技术规范》(HJ 495)<sup>[24]</sup>,《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T 91)<sup>[25]</sup>,《水质 湖泊和水库采样技术指导本指南》(GB/T 14581)<sup>[26]</sup>采纳相应颁布的技术规范和标准方法进行。

#### 5.5.1 监测指标

总氮、总磷、高锰酸盐指数、叶绿素 a 是湖库理化指标监测的必测项目,其他指标可根据湖库特征选择 GB 3838 中常规监测项目及对湖库水环境质量有指示意义的其他特征指标。

## 5.5.2 监测方法

湖库水质样品采集方法、保存和运输等按照《水质 湖泊和水库采样技术指导》(GB/T 14581)、《地表水和污水监测技术规范》(HJ/T91)、《水质采样 样品的保存和管理技术规定》(HJ 493)、《水质 采样技术指导》(HJ 494)、《水质 采样方案设计技术规范》(HJ 495)等标准进行。实验室分析方法均采用国家标准方法。

## 5.6 生境调查

物理生境的改变是湖库水生生物的主要胁迫因素之一,其调查是湖库水生态环境质量监测的重要内容。湖岸生境的物理结构以及人类活动干扰等进行评价,历史上这方面研究相对较少,各国还没有完全统一标准的评价方法,只提出原则性和大致观测内容。本指南编制组在借鉴采纳美国《National Lakes Assessment》文件以及水利部《河湖健康评估技术导则(送审稿)》中湖库生境调查评估中的主要内容基础上,结合在太湖、丹江口、滇池和洱海等我国典型湖库工作中实际调查的经验和指标适用性,编制形成此部分内容。

美国《National Lakes Assessment》文件提出湖库生境调查内容主要包括湖滨带、湖岸带的生境调查,湖心不作调查。调查涉及前期整体的观测,半定量调查湖区周围人为干扰因素,湖库底质构成特点,水生大型植物覆盖状况,鱼类栖息场地,湖滨带湖岸带植被多样性和覆盖度,人类干扰强度和外来物种入侵情况。水利部《河湖健康评估技术导则(送审稿)》中提出湖岸带稳定性、湖岸带植被覆盖度、湖岸带人工干扰强度、湖泊面积萎缩比例等物理参数。美国《National Lakes Assessment》的内容更为全面,与生物多样性关联性更高。基于此本指南提出了生境调查要素,基于半定量的调查观测方法进行。内容包括点位基本信息、调查当天的天气条件、湖库沿岸特征(包括,湖库土地利用特征、沿岸侵蚀、沿岸生境、沿岸构成、水域内特征)、常规水体环境、常规沉积物和底层环境特征(沉积物气味、油污情况、底质类别:淤泥、泥沙、黏土、粗砂、砾石、卵石、岩石或其他)、水生植物生长情况。

### 5.6.1 生境调查要素

调查记录湖库类型(高原型/平原型,淡水型/咸水型,通江型/非通江型),湖库流域总面积及湖库面积,换水周期,主要出入湖库的河流河宽、河深、流速、流量等特征信息。

记录湖库名称、调查人员、调查日期和时间、采样点位编号、经纬度和海拔等信息。

#### 5.6.1.1 天气条件

调查记录当天、过去 24h 和过去 7d 内的天气状况。重点记录风速、风向及降雨情况。

#### 5.6.1.2 湖库沿岸特征

##### (1) 土地利用类型

调查记录调查区域及周边内主要的土地利用类型,以及其他可能影响水质的土地利用类型,及土地使用中产生的污染类型和特征。

##### (2) 沿岸侵蚀

观察记录 100 m 调查区内陆向延伸 50 m 的湖(库)岸带区域是否存在或可能存在土壤

流失、沿岸侵蚀，估测沿岸的稳定程度和侵蚀比例。

#### (3) 沿岸生境

观测 100 m 调查区及陆向延伸 50 m 的湖（库）岸带区域，描述并记录植被特征、覆盖度、多样性、优势植被类型及物种，区域宽度可根据实际情况酌情调整。

#### (4) 沿岸构成

观察记录 100m 调查区域湖（库）滨岸带的物质组成结构。观察记录沿岸堤岸固化、修建港口和码头等情况。

#### (5) 水域内特征

观察记录湖库内疏浚、建设闸坝等情况。

### 5.6.1.3 常规水体环境

#### (1) 水体表观性状

观察记录水色、气味、表面漂浮物、油污、水体悬浮物等。

#### (2) 基本水质参数

现场测量并记录温度、电导率、pH、浑浊度、溶解氧、水深、透明度等参数值。

### 5.6.1.4 常规沉积物和底层环境特征

#### (1) 沉积物气味表观性状

描述记录沉积物颜色、气味、油污情况。

#### (2) 沉积物油污

描述记录底质类别（淤泥、泥沙、黏土、粗砂、砾石、卵石、岩石或其他）及其出现比例。

#### (3) 水生植物生长情况

描述记录大型水生植物生长情况、类型、分布面积、优势物种等。

### 5.6.2 记录打分表

通过目测及无人机影像，在生物监测区域、湖（库）滨岸带及周边进行生境调查，现场方法难以确定生境状态时应结合遥感解译结果进行判定。调查内容包括：湖（库）岸漫滩、湖（库）岸坡度、湖（库）岸侵蚀、湖（库）滨带、水质、底质、大型水生植物、湖（库）岸陆生植物、湖（库）滨带人类影响。

本指南以上述调查结果，针对 10 项湖库生境指标进行评分：包括湖（库）岸坡度、湖（库）滨带底质、湖（库）岸稳定性、水量情况、湖（库）岸形态、湖（库）岸植被、大型水生植物、水质状况、人类活动强度、土地利用类型。记录调查结果，按照生境打分表进行评分，评分范围为 0~20（最高值），调查人员按照半定量的方法根据指标参数的满足程度赋分。将分数累加，得到最终的生境评价结果，确定栖息地评价等级。

同时指南提出生境状态评价时的注意事项，最小化主观因素造成的影响，确保生境评价结果的可接受性。内容如下：

(1) 利用遥感解译结果和近距离观察生境特征相结合的方式，客观的评价，近距离观察生境特征，以便充分评价；

- (2) 避免干扰采样生境；
- (3) 至少由 2 人共同完成生境状态评价；
- (4) 生境评价仅限于湖（库）滨岸带点位，湖心点位不作考虑。

### 5.7 底栖动物

底栖动物是公认的水生态环境质量评价的关键生物类群，其监测分析的质量直接关系到评价结论的可靠性，其个体的空间分布具有不均匀性，为保证底栖动物监测的代表性主要考虑以下因素：

- (1) 定量及定性采集样品相结合的方法互为补充。
- (2) 对采样区域内的淤泥、沙质、砾石及水草等各种可能出现的小生境要全覆盖。
- (3) 每种生境要有一定的采样量，满足“种与面积关系原理”对采样量的要求，对于一般以淤泥为主的湖库，每个位点总采样量以 4 次采泥器及 1 次三角拖网的采样量较为理想，下图 6 为实际采样量代表性分析案例。

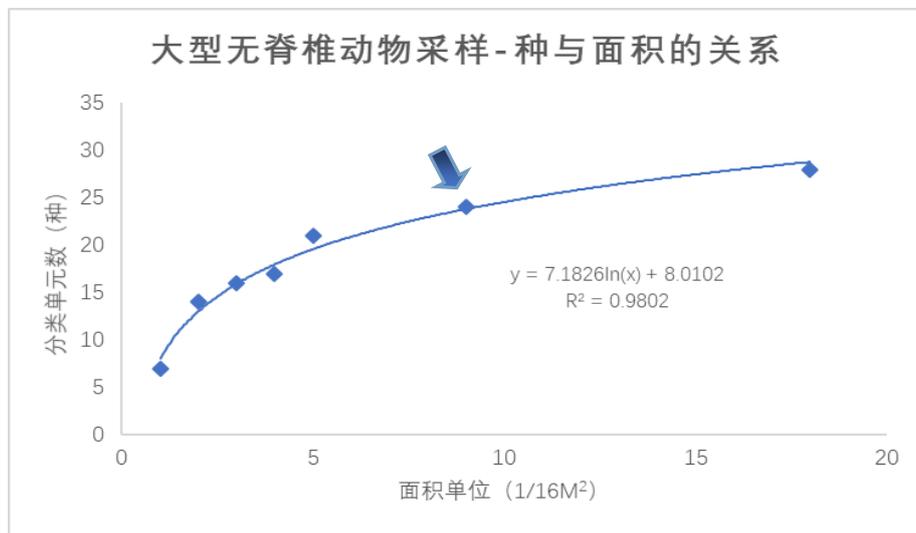


图 6 采样量与获得物种种类数代表性的关系

编制组依据在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库底栖动物采集的工作经验，综合参考了美国 National Lakes Assessment 《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》、《2012 National Lakes Assessment--Laboratory Operations Manual (EPA 841-B-11-004)》中定性定量样品采集通用的采样器具（手抄网、采泥器、人工基质采样器等）和方法，编制形成湖库底栖动物监测方法。此部分内容中提出了采样器材器具要求、野外采样中定量样品和定性样品采集的方法程序、样品保持和运输的要求、实验室内样品处理和鉴定、整个过程的注意事项等内容。编制的特点如下：

- (1) 根据不同的基质和采集深度特点提出各类采样器的采集方法，可以满足深水和浅水型湖库的底栖动物的采集要求。
- (3) 明确提出了适宜的采样量，以减少底栖动物在底质中分布不均造成的误差。
- (4) 细化了实验室分样及生物挑拣的全过程，操作性更强。
- (5) 提出了不同类群物种分类鉴定的要求。

(6) 给出了物种分类鉴定依据的参考书目。

## 5.8 浮游植物

浮游植物是湖库的初级生产者,富营养化湖库水华的发生是浮游植物大量异常生长的结果,是湖库水生态环境质量评价不可缺少的内容,由于浮游植物空间分布的不均匀性及不同种类密度的巨大差异,采用定量及定性采样相结合的方法使其野外采样更具代表性。编制组依据在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库浮游植物监测的工作经验,综合参考了美国 National Lakes Assessment 《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》、《2012 National Lakes Assessment--Laboratory Operations Manual (EPA 841-B-11-004)》编制形成湖库浮游植物监测方法。此部分内容包括采样器材器具、野外定量样品和定性样品的采集方法、样品保存、实验室内样品前处理、定性和定量样品的鉴定分析以及整个监测过程的注意事项内容,方法的主要特点:

(1) 浮游植物在湖库水体垂直层具有分布不均匀的特点,为了能够获取代表性的样品,需要针对湖库的不同水层进行混合采样。考虑到浮游植物的分布受湖库水体中透光条件的限制较大,其群落绝大多数物种主要分布在透光层范围内,因此,综合参考国内外主要湖库浮游生物监测技术规范对于采样分层的要求,包括 National Lakes Assessment 《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》、《Water quality. Guidance on quantitative and qualitative sampling of phytoplankton from inland waters.》(BS EN 16698 2015)和《内陆水域浮游植物监测技术规程》(SL 733-2016)等,同时兼顾水生态环境质量业务化监测的可操作性、可推广、可应用等实际需求,按水深差异,规定细化了分层采样的技术要求。

其中,定量采样规定:水深 $<5\text{m}$ 或混合均匀的水体,不分层,在水面下 $0.5\text{m}$ 处采集;水深为 $5\text{m}\sim 10\text{m}$ 时,分别在水面下 $0.5\text{m}$ 处和透光层(深度以3倍透明度计)底部采集;水深 $>10\text{m}$ 时,分别在水面下 $0.5\text{m}$ 处、 $1/2$ 透光层和透光层底部采集。分层采样按照由浅到深的顺序,使用采水器于每个采样层分别采集 $1\text{L}$ 水样。不同水层水样采集后混合均匀,取 $1\text{L}$ 水样装入样品瓶。贫营养状态水体中可酌情增加采样体积。定性采样则以能够采集到尽量多的物种为目标,建议覆盖监测水体的整个透光层。定性采样规定:浮游植物定性样品的采集应在定量样品采集结束后进行。将25号浮游生物网沉到透光层底部,至下而上拖动采集,重复 $2\sim 5$ 次,累计拖拽距离不低于 $5\text{m}$ 。同时,注明:若监测水体出现水华情况,表层下 $0.5\text{m}$ 处的样品应单独处理。

如果基于其他特定监测或研究目的开展详细调查时,可根据调查目的增加分层数量。

(2) 增加了浮游植物样品超声波处理的内容,丰富了样品前处理的技术方法。

(3) 提出了藻类分类鉴定及计数的细节操作,提出了适合各类样品和实验室情况的技术方法,包括全片计数法、行格计数法、对角线计数法、随机视野计数法,以确保不同水体生物量下鉴定计数数据的可靠性和可操作性。

(4) 规范了在突发水华等应急监测中快速鉴定、计数的技术要求。

(5) 给出了物种分类鉴定所依据的参考书目。

## 5.9 浮游动物

浮游动物是湖库的水生态系统食物链重要的营养环节,是湖库水生态环境质量评价重要的内容,其采样分析的代表性主要考虑空间垂直分布的不均匀性,强调定量及定性采样方法相结合。编制组依据在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库浮游动物监测的工作经验,综合参考了美国 National Lakes Assessment《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》、《2012 National Lakes Assessment--Laboratory Operations Manual (EPA 841-B-11-004)》编制形成湖库浮游动物监测方法,此部分内容包括采样器材器具、野外定量样品和定性样品的采集方法、样品保存、实验室内样品前处理、样品的鉴定分析以及整个监测过程的注意事项内容,方法的主要特点:

(1) 受温度、光照、饵料等的分布差异,浮游动物的分布同样也存在垂直分层差异。一般情况下,浮游动物的分层采样可与浮游植物保持一致,因此,参照浮游植物分层采样要求,浮游动物的定量采样规定:水深 $<5\text{ m}$ 或混合均匀的水体,不分层,在水面下 $0.5\text{ m}$ 处采集;水深为 $5\text{ m}\sim 10\text{ m}$ 时,分别在水面下 $0.5\text{ m}$ 处和透光层(深度以3倍透明度计)底部采集;水深 $>10\text{ m}$ 时,分别在水面下 $0.5\text{ m}$ 处、 $1/2$ 透光层和透光层底部采集。分层采样按照由浅到深的顺序,原生动物和轮虫使用采水器于每个采样层分别采集 $1\text{ L}$ 水样,不同水层水样采集后混合均匀,取 $1\text{ L}$ 水样装入样品瓶;枝角类和桡足类使用采水器于每个采样层分别采集 $5\text{ L}$ 水样,经25号浮游生物网过滤浓缩后,将浓缩样装入 $100\text{ ml}$ 采样瓶,并使用蒸馏水冲洗网内侧2次~3次,将冲洗浓缩液也加入同一采样瓶中。贫营养状态水体中可酌情增加采样体积。定性采样则以能够采集到尽量多的物种为目标,建议覆盖监测水体的整个透光层。因此,定性采样规定:浮游动物定性样品的采集应在定量样品采集结束后进行。分别将25号浮游生物网和13号浮游生物网沉到透光层底部,至下而上拖动采集,重复2~5次,累计拖拽距离不低于 $5\text{ m}$ 。

如果基于其他特定监测或研究目的开展详细调查时,可根据调查目的增加分层数量。

(2) 明确了不同类群浮游动物采样方法要求,原生动物和轮虫需要参考浮游植物的采集方法,用25号浮游生物网采集;枝角类和桡足类需要采用13号浮游生物网采集。

(3) 提出合理的采样体积,明确采水量以 $10\text{ L}\sim 50\text{ L}$ 为宜,具体视浮游动物密度而定,密度高,则采水量可少;密度低,采水量应适度增加。通常湖泊样品采集 $10\text{ L}\sim 20\text{ L}$ 水样,水库 $20\text{ L}\sim 50\text{ L}$ 水样。

(4) 根据不同类群浮游动物的特点,提出样品前处理方法,① 沉淀法:适用于原生动物和轮虫,操作方法同浮游植物定量样品的沉淀、浓缩方法。原生动物及轮虫的计数可与浮游植物的计数合用一个样品。② 过滤法:适用于枝角类和桡足类等个体较大、密度较低的甲壳动物。一般采用25号浮游生物网进行过滤。

(5) 根据不同类群浮游动物的特点,提出样品鉴定计数的细则要求,原生动物、轮虫、枝角类和桡足类应按照不同的取样量和重复抽样技术原则进行。

(6) 给出了物种分类鉴定所依据的参考书目。

## 5.10 大型水生植物

大型水生植物是湖库的水生态系统特别是浅水型湖泊的生态基础,也为其他生物提供了

适宜生存的生境条件，是湖库水生态环境质量评价重要的内容，其监测采样分析强调定量及定性采样方法相结合。编制组依据在太湖、滇池等湖泊监测的工作经验，采纳了美国 National Lakes Assessment 《2012 National Lakes Assessment--Field Operations Manual (EPA 841-B-11-003)》、《2012 National Lakes Assessment--Laboratory Operations Manual (EPA 841-B-11-004)》编制形成湖库大型水生植物监测方法，此部分内容包括采样器材器具、野外定量半定量样品和定性样品的采集方法、样品保存、实验室内样品前处理、样品的鉴定分析以及整个监测过程的注意事项内容，方法的主要特点：

(1) 针对不同水生植物类型（如沉水植物、浮叶植物和漂浮植物）的定量采样要求。内容明确了，挺水植物宜用 2 m×2 m 采样方框采集。植株稀疏群落 (<100 株/m<sup>2</sup>) 可采用 10 m×10 m 或 5 m×5 m 样方，植株密度大 (>100 株/m<sup>2</sup>) 可采用 1 m×1 m 或 0.5 m×0.5 m 样方。采集时，应将方框内的全部植物用镰刀从基部割取，采集的样品应除去污泥等杂质，装入样品袋内。沉水植物、浮叶植物和漂浮植物宜用水草采样夹采集。采集时，将水草夹张开，待其沉入水底后关闭上拉，倒出网内植物，冲洗去淤泥，去除枯死的枝、叶及杂质，洗净装入样品袋中，带回实验室内进行处理。当沉水植物和浮叶植物密度过大，采样夹已盛不下水草时，可用 0.25 m<sup>2</sup> 采样方框数株采集。每个监测点位应采集至少两个平行样品。

(2) 针对不同水生植物类型（如沉水植物、浮叶植物和漂浮植物）的定性采样要求。内容提出，挺水植物可直接用带柄镰刀采集；浮叶植物和沉水植物可用水草采集耙或枝剪采集；漂浮植物可用手抄网采集。定性样品应尽量在开花和（或）果实发育的生长高峰季节采集，采集的样品应完整（包括根、茎、叶、花、果）。

(3) 提出半定量采样要求，满足不同监测要求。内容包括，大型水生植物中的挺水植物、浮叶植物和漂浮植物的覆盖度和分布范围可以通过遥感（航空或卫星成像获取）或沿岸带调查获取。大型水生植物（浮叶植物和沉水植物）的快速评估主要使用水草采集耙采样，沿采样点位到沿岸最近点连线前后各 100 m（共 200 m，也可将该连线作为这一监测点位的背景样线来分析）的范围内作为样线进行半定量采样，等间距或按不同深度设置 3~6 个样点。随着连线航行到水生植物采样点，将带着绳子的水草采集耙放入水中，直至沉在水底，看到绳子松下来的时候，记录采样点深度（±0.2 m）。将采样耙少许拖拽并以平稳连续的动作垂直拉出水面，中间不要停顿以防止植物脱落。

(4) 提出对于生物量和干样残留的监测要求。提出在条件许可而水生植物密度较大情况下，可以对采集完的水生植物进行生物量的统计；可选择部分点位做干重处理，干燥后的植株还可作为污染物残留分析样品。

(5) 给出了物种分类鉴定所依据的参考书目。

## 5.11 质量保证与质量控制

对湖库水生态环境质量监测全过程，包括野外监测和实验室两大部分，从样品采集、样品保存、样品运输、记录、样品交接、种类鉴定和计数、数据记录、样品保存和处置、鉴定资料 and 人员资质等各个技术环节对影响监测数据质量的方面提出了操作的技术要求。

此部分内容提出主要考虑以下方面：主要参照美国《2012 National Lakes Assessment—Field Operations Manual》，根据现场操作的经验和技质控关键点，规范了样本的采集、

保存、运输和采样记录等。明确了影响数据质量的内容，如，样品需由 2 位人员重复技术，采样人员应经过标准化培训和考核等主要内容，最终形成野外质量保证和控制具体要求。关于实验室质量保证与控制内容，根据技术部门实验室操作的经验和《2012 National Lakes Assessment——Laboratory Operations Manual》对于实验室样品鉴定、抽检、重复鉴定等的重要质控内容要求，明确了样品需由 2 名工作人员重复计数，定期邀请专业分类学者对 10% 的样品进行抽查，鉴定需请 1 位相关专业人员对样品按 10% 比例进行抽检等技术要求，最终形成实验室质量保证和控制具体要求。

### 5.11.1 野外质量保证与控制

#### 5.11.1.1 样品采集

(1) 制定合理的采样计划，用符合质量要求的统一设备采样，采样地点以 GPS 定位为准，保证采集样品的代表性和可比性。

(2) 采集现场要设负责人，对采样点位、采样实施、采集效果进行评估。

(3) 野外设备应处于良好状态，野外监测、记录数据必须完整、规范、清晰。

(4) 合理安排现场监测与样品采集顺序，一般顺序为物理生境记录、水样采集、浮游植物和浮游动物采集、大型底栖无脊椎动物采集、大型水生植物采集，同时尽量避免生物类群在采集前受到较大扰动。定量采样应在定性采样前进行。

(5) 生物样品采集过程中，要由指定人员检查样品采集过程是否符合采集要求，保存方法是否符合规范。

(6) 生境调查至少应有 2 人同时完成记录和评价；不同时间周期下同一湖库的生境调查建议由同批人员完成。

(7) 正确填写现场采样记录表及样品标签，包括样品编号、日期、水体名称、采样位置、采样量以及采样人姓名等。如果某个点位某个项目的样品瓶超过一个，还应当标明样品的总瓶数及编号。样品记录表包含的信息必须与样品瓶标签一致。

(8) 及时清洗所有接触过样品的采样设备，并仔细检查，防止采样污染。

#### 5.11.1.2 样品保存

及时现场处理及保存样品。水质样品按相关标准及规定保存，不同的生物样品需要按照本标准各类群生物保存要求进行，单独分装，按规定冷藏或固定，同时按规定时间完成后续操作。

#### 5.11.1.3 样品运输

(1) 运输前根据采样记录或登记表核对清点样品，以免有误或丢失。

(2) 样品运输中贮存温度应根据各自项目规定执行，不得超过采样时的温度，必要时需冷藏。

(3) 运输中应仔细保管样品，应避免强光照射及强烈震动，以确保样品无破损、无污染。

#### 5.11.1.4 记录

确保野外采样全过程记录完整、清晰，除样品的相关信息，还应详细记录采样时间、地点、经纬度、水温、气温、水文、植被等。

现场样品运输交接过程中需仔细核对实际样品信息和记录信息的一致性，防止丢失、混淆等。

### 5.11.2 实验室质量保证与控制

#### 5.11.2.1 样品的交接与记录

(1) 样品交接时，应办理正式交接手续，检查采样记录表信息与样品是否一致，由接收样品的工作人员记录其状态，检查是否异常或是否与方法中标准状态有所偏离。同一任务的样品应保存在相对独立、集中的区域，并放置明显的标识。

(2) 实验室应建立送检样品的唯一识别系统，以保证任何时候的样品识别不会发生混淆。

#### 5.11.2.2 物种鉴定和计数

(1) 样品鉴定应基于统一的分类资料进行，命名需要与生态环境监测部门发布的物种名录或物种多样性数据库名称相吻合，必要时应请专家对命名进行核定。

(2) 有疑问不确定的物种，需要请分类学专家对物种进行确认。

(3) 新种、新记录种必须留出典型、完好的样品制作标本，永久保存，并请分类学专家进行确认。

(4) 无特殊监测要求时，硅藻通常不进行烧片处理。

(5) 抽取一定比例的样品（如 10%），分别由 2 名工作人员重复计数，以评估分类和计数的精确性及偏差。

(6) 定期聘请相关专业人员对样品进行抽检，抽检比例为 10%，以评估该实验室分类鉴定和计数结果的准确性，并记录偏差情况。

(7) 有条件的监测机构可建立物种数据库，利用人工智能图像比对辅助鉴定样品，定期请专业分类学者对物种库予以检查，更正错误。

#### 5.11.2.3 数据记录

详细记录样品信息（名称、属性、固定剂情况等）、方法依据及关键技术参数（包括样品体积、浓缩或稀释情况、取样体积、镜检范围等）、物种名录（中文名和拉丁名）、数量和生物量以及结果计算方法等信息，同时对抽检、比对情况以及存疑的物种分类结果予以清晰标记。另外，数据记录表须有记录人、校对人对人签字。

#### 5.11.2.4 样品保存及处置

按照要求保存样品，每隔几周定期检查固定液，必要时进行添加。现场分析剩余样品不保存；实验室分析剩余的生物样品至少保留 4 个月以上，有条件的实验室可长期保存。新种、

新记录、典型物种等珍贵标本要长期保存，准确记录、标记完整。

### 5.11.2.5 鉴定资料

根据标准推荐和鉴定需求配置参考书籍，参考生态环境监测部门推荐或者认可的水生生物名录或水生生物数据库资料，必要时应定期聘请专家核准鉴定结果。

### 5.11.3 人员资质

国家及省级生态环境部门应定期开展水生态环境质量监测与评价培训、考核及发证工作，所有从事该项工作的专业技术人员均应接受相关培训，取得培训证书后可开展相关工作。

## 5.12 湖库水生态环境质量评价方法

### 5.12.1 水环境评价

#### 5.12.1.1 水质评价

水质指标的评价参照《地表水环境质量标准》(GB—3838) [27]，根据不同功能分区水质类别的标准限值，进行单因子评价（其中水温和 pH 不作为评价指标）。水质类别等级的划分参照《地表水环境质量评价办法》(环办〔2011〕22号)中湖泊、水库水质评价方法，最后根据水质类别等级进行赋分，赋分标准参见表 7。

表 7 水质指标评价等级及赋分

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

#### 5.12.1.2 营养状态评价

不同于河流，湖库水质的更为关注的问题是富营养化，因此，湖库水环境评价水质状况的同时，应注重营养状态评价。依据中国环境监测总站 2001 年提出的《湖泊水库富营养化评价方法及分级技术规定》(总站生字〔2001〕090号)进行，以综合营养状态指数 TLI 进行评价。

参评指标有叶绿素 a (chl<sub>a</sub>)、总磷 (TP)、总氮 (TN)、透明度 (SD)、高锰酸盐指数 (COD<sub>Mn</sub>)。

综合营养状态指数按照公式 (1) 计算：

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

式中， $TLI(\Sigma)$ ——综合营养状态指数；

$W_j$ ——第 j 种参数的营养状态指数的相关权重；

$TLI(j)$ ——代表第 j 种参数的营养状态指数。

$W_j$ 的结果按照公式 (2) 计算：

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

式中： $r_{ij}$ ——第  $j$  种参数与基准参数  $chl_a$  的相关系数；

$m$ ——评价参数的个数。

湖泊（水库）的  $chl_a$  与其他参数之间的相关关系  $r_{ij}$  及  $r_{ij}^2$  见表 8。

表 8 湖库叶绿素 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：

$$(1) TLI(chl_a) = 10(2.5 + 1.086 \ln chl)$$

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

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

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

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

式中，叶绿素 a  $chl_a$  单位为  $mg/m^3$ ，透明度 SD 单位为 m；其他指标单位均为  $mg/L$ 。

湖库营养状态分级标准及赋分见下表 9。

表 9 湖库营养状态分级标准及赋分表

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

### 5.12.2 生境评价

编制组在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库大型底栖动物采集的工作经验，综合参考了美国 National Lakes Assessment 的方法和河流生境评价方法保持一致，形成梯度分级生境评价技术方法。

按照“生境调查”中生境调查方法获得生境监测数据，填写湖库生境调查记录表，对“生境评价数据表”10 项参数分别进行评分，每项参数分值范围为 0~20，划分为五个评价等级。每个点位的生境总分由 10 项参数分值累加计算，分级评价标准见表 10。生境评价仅适用在湖滨点位，湖心点位暂不纳入评价。

表 10 生境评价等级及赋分表

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

### 5.12.3 生物评价

生物评价是湖库水生态环境质量评价的关键，本部分编制组在太湖、丹江口、滇池和洱海等湖库大型底栖动物采集的工作经验基础上，主要借鉴和采用了美国国家环境监测评价计

划及国内外常用的评价方法。重点提出了 BI 指数、BMWP 指数、生物完整性 IBI 指数、多样性指数和均匀度指数，给出了 BI 指数、BMWP 详实丰富的耐污值和敏感值，并给出了 IBI 指数筛选的方法。

用于生物评价的指数类型多样、不同国家、不同区域、不同水体使用的指数往往不尽相同。本指南依据成熟通用、简便操作性强、可业务化等几项原则，基于可满足从不同角度和尺度开展生物评价的监测需求，选定了生物监测评价中比较典型的多项指数。主要包括从多样性角度、指示类群分布特征角度、完整性角度、污染耐受性等，可以满足对单个位点的评价、对部分湖区的评价及对全湖评价多尺度的需求。

指南在生物评价方法中为提供更好的灵活性，适应在业务化监测中对不同水体开展监测评价的需求，给出了各项指数的适用范围和适用类群，供各监测单位依据监测目的灵活选择更为适用的评价方法。

针对大型底栖动物类群的评价方法有：BMWP 记分系统、BI 生物指数；可适用于底栖和浮游植物和浮游动物多个类群的评价方法有 Shannon-Wiener 多样性指数、Evenness 均匀度指数和生物完整性指数（IBI）。

### 5.12.3.1 生物评价方法适用性

本指南筛选出我国生物评价常用的几种方法，这些方法在我国都有比较长的应用历史，其方法适用性见表 11。

表 11 常见水生生物指数评价法适用性

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

### 5.12.3.2 评价方法

#### 5.13.3.2.1 多样性指数

(1) 香农-维纳多样性指数（Shannon-Wiener）

香农指数结果按照公式（3）计算：

$$H = - \sum_{i=1}^S \left( \frac{n_i}{n} \right) \log_2 \left( \frac{n_i}{n} \right) \quad (3)$$

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。

(2) 均匀度指数 (Evenness)

均匀度指数结果按照公式 (4) 计算：

$$J = \frac{H}{\ln S} \quad (4)$$

式中， $J$ ——均匀度指数；

$H$ ——香农-维纳多样性指数；

$S$ ——物种数。

多样性指数评价按照表 12 所示。

表 12 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	$H = 0$	$0 < H \leq 1$	$1 < H \leq 2$	$2 < H \leq 3$	$3 < H$
均匀度指数	$J = 0$	$0 < J \leq 0.3$	$0.3 < J \leq 0.5$	$0.5 < J \leq 0.8$	$0.8 < J \leq 1$

### 5.13.3.2.2 耐污指数

基于不同生物类群所构建的生物耐污指数不尽相同，其中大型底栖动物 BI 指数和 BMWP 指数、硅藻指数 IDP 使用较广泛。

(1) BI 生物指数

BI 生物指数结果按照公式 (5) 计算：

$$BI = \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} \times t_i \quad (5)$$

式中， $t_i$ ——一种  $i$  的耐污值；

$n_i$ ——一种  $i$  的个体数；

$N$ ——生物总体个数；

$S$ ——物种数。

(2) BMWP 指数

BMWP 指数结果按照公式 (6) 计算：

$$BMWP = \sum F_i \quad (6)$$

式中， $F_i$ ——科  $i$  的敏感值。

耐污指数评价分级标准见表 13 所示。

表 13 污染生物指数评价分级

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

### 5.12.3.3 生物完整性指数评价

生物完整性指数 (Index of Biotic Integrity, IBI) 是国内外使用最为广泛的多度量生物指数 (Multi-metric Index, MMI), 可针对大型底栖动物、浮游植物、浮游动物、大型水生植物和鱼等生物类群构建完整性指数并开展评价。区别于单指数, 生物完整性指数是在对多个候选单指数进行筛选的基础上, 将获得的敏感指标进行整合而成。由于生物的分布存在明显的空间地理区系差异, 各地需要结合水生态实际, 筛选构建适用的生物完整性指数。本指南中给出了 IBI 评价的基本技术步骤。本说明中提供了太湖大型底栖动物 IBI 指数的评价案例作为各区域开展 IBI 评价的技术参考。

#### (1) 参照点位的确定

根据指南文本 4.3 中的原则要求确定参照状态。为便于对比, 除参照状态以外的监测样本统称为“受损状态”。可参考太湖案例中的参照状态筛选条件进行

#### (2) 建立候选参数清单

参考相应资料, 选择国内外常用生物指数并结合研究对象实际情况, 建立候选参数清单, 并设定这些参数的预期胁迫响应趋势, 即随着环境胁迫的升高, 参数值是正响应 (上升) 或负响应 (下降)。通常情况下, 候选参数包括物种丰富度、物种多度组成、耐污能力、摄食类群和习性 5 类生物指数。

#### (3) 核心参数筛选

将候选参数依次开展分布范围分析、判别能力分析和冗余度分析, 筛选核心参数。

##### a) 参数值分布范围分析

分析候选参数值的分布范围, 剔除以下两类参数: ①分布范围较小, 对环境胁迫的响应区间较小, 敏感度不足; ②在参照状态样本中, 参数自身变化性过高。

##### b) 判别能力分析

采用箱线图法分析进入判别能力分析的各参数在参照状态和受损状态之间的分布情况。比较参照状态和受损状态 25<sup>th</sup>~75<sup>th</sup>分位数范围即箱线图箱体重叠情况, 分别赋予不同的值。箱体无重叠 (图 7A), 则 IQ 取为 3; 箱体部分重叠 (图 7B), 但各自中位数都在对方箱体范围以外, 则 IQ 取为 2; 只有 1 个中位数在对方箱体范围之内 (图 7C、D), 则 IQ 取为 1; 各自中位数均在对方箱体范围之内 (图 7E), 则 IQ 取为 0。只有  $IQ \geq 2$  的参数才作进一步分析, 其余指数剔除。

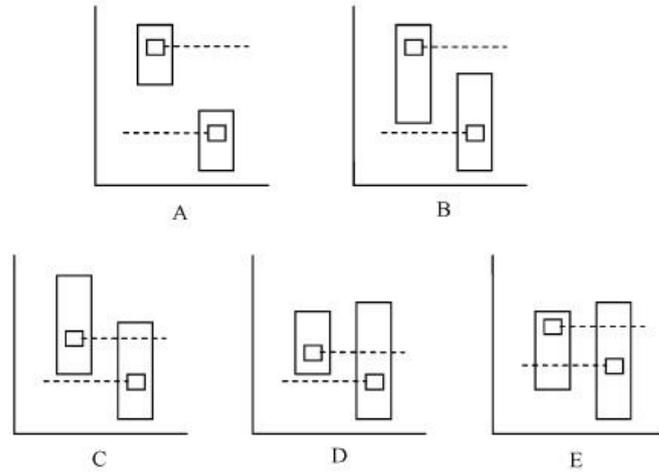


图7 参数 IQ 值记分法

### c) 冗余度分析

将通过以上 a)、b) 筛选的参数进行相关性分析，相关系数  $|r| > 0.75$  的参数根据其携带的信息量和重要性，进行多余指标的剔除。

### (4) 生物完整性指数构建

#### a) 指数计算

为统一量纲，采用国内外应用较广的比值法计算各候选参数的分值。对与环境胁迫呈反比的参数，以参照状态 95<sup>th</sup> 为期望值，按“指数值/期望值”计算参数分值；对与环境胁迫呈正比的参数，以参照状态 5<sup>th</sup> 为期望值，以“(最大值-指数值)/(最大值-期望值)”计算参数分值。若分值大于 1，则按 1 计。经指南文本 5.12.3.3 (3) 筛选后获得的核心参数分值之和即为生物完整性指数值。

#### b) 评价标准

生物完整性指数的评价标准，可以采用以下两种方法：参照位点指数值分布的 25<sup>th</sup> 法，如果位点的指数值大于 25<sup>th</sup>，则表示该位点受到的干扰很小，小于 25<sup>th</sup> 的分布范围，根据需要 4 等分，分别代表不同的环境状态。所有位点指数值分布的 95<sup>th</sup> 法——以 95<sup>th</sup> 为最佳值，低于该值的分布范围进行 5 等分，靠近 95<sup>th</sup> 值的一等分代表位点所受干扰较小。一般 IBI 常用评价标准划分等级为 5 级，由高到低分别定义为：优、良好、中等、较差、很差。

### (5) 指数验证

建立参照位点和受损位点 IBI 分值的箱线图，检验评价方法可否对两类位点进行有效区分。如果 IQ 值  $\geq 2$ ，则可认为该生物完整性指数有效。

### 5.12.3.4 生物完整性指数构建案例

以江苏省太湖流域（总面积约  $1.94 \times 10^4 \text{ km}^2$ ）湖荡大型底栖动物为案例，开展了 IBI 评价指数构建的案例研究，以此说明 IBI 指数的构建、目标值的建立及评价方法制定。

#### (1) 点位布设及样品采集与分析

均衡选择水生态条件较好、中等、较差的 3 类样点，共布设 49 个监测点位（图 8），分别于 2013 年 1~3 月、7~8 月和 10~11 月开展 3 次监测，大型底栖动物样品及水质样品的

采集均按本指南要求进行。

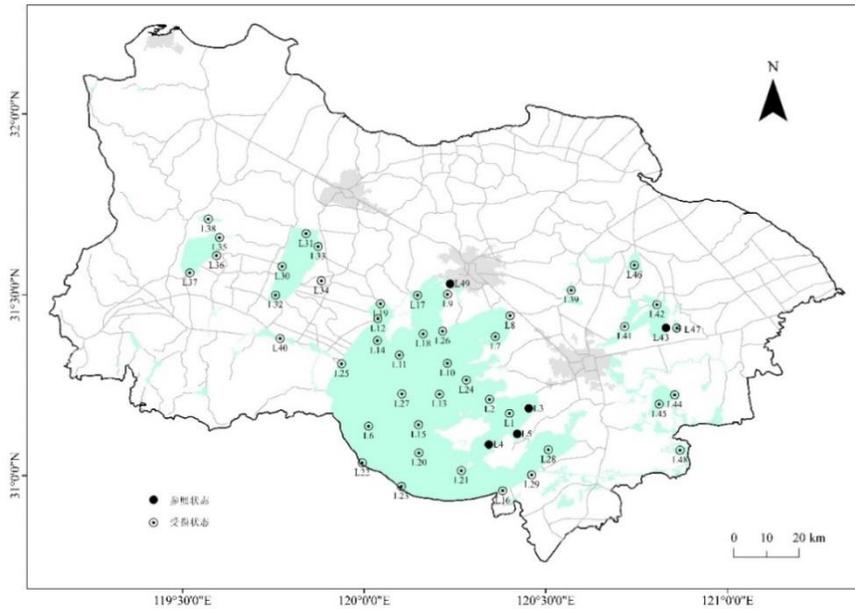


图 8 江苏省太湖流域主要湖泊监测点位图

(2) 参照状态的选择

江苏省太湖流域地区经济发达，开发强度大，现存条件下无法找到未受人类干扰或干扰极小的区域，选择最小干扰状态作为参照状态，条件见表 14。根据 5.4.4 部分参照状态的遴选条件，最终选择 L3 浦庄（2012 年 12 月、2013 年 8 月、2013 年 11 月），L5 胥湖南（2012 年 12 月、2013 年 8 月、2013 年 11 月），L49 五里湖（2012 年 12 月），L4 东西铁塔（2013 年 8 月、2013 年 11 月），L47 阳澄东湖南（2013 年 11 月）作为参照点位，其余均视为受损点位。

表 14 江苏省太湖流域湖荡参照状态条件

参照状态条件	湖荡
水质条件	TN≤1.5mg/L, TP≤0.1mg/L
综合营养状况	TSI<52*, 无蓝藻水华
生境条件	有沉水植被分布
人为干扰情况	无航道、养殖和娱乐等功能，受水利工程影响小

注：\*为监测样本的 25<sup>th</sup> 数值

(3) 候选参数的筛选

参照国内外相关文献并结合江苏省太湖流域湖荡水生态条件，共收集了 58 个常用参数作为湖泊大型底栖动物完整性指数筛选的候选参数，其中反映群落丰度的参数 14 个、反映物种多度组成的参数 20 个、反映耐污能力的参数 14 个、反映摄食类群的参数 10 个，见表 15。

表 15 候选参数及对环境胁迫的预期响应

指标类型		候选指标及预期胁迫响应				
物	分类单	M <sub>1</sub> 总分类单元 ↓	M <sub>2</sub> 软体动	M <sub>3</sub> 甲壳动物 ↓	M <sub>4</sub> 端足目 ↓	M <sub>5</sub> 端足

种 丰 度	元数		物 ↓			目+软体动物 ↓
		M6 甲壳动物+软体动物 ↓	M7 EPT <sup>①</sup> ↓	M8 ETO <sup>①</sup> ↓	M9 水生昆虫 (非摇蚊) ↓	M10 摇蚊科 ↓
	指数	M11 Shannon-Wiener ↓	M12 Margalef ↓	M13 Pielou ↓	M14 Simpson ↓	
物种 多 度 组 成	相对多度	M15 Berger-Parker 指数 ↓	M16 优势分类单元 ↑	M17 前3位优势分类单元 ↑	M18 颤蚓科 ↑	M19 寡毛类 ↑
		M20 摇蚊 ↑	M21 双翅目 ↑	M22 寡毛类+摇蚊 ↑	M23 水生昆虫 (非摇蚊) ↓	M24 端足目 ↓
		M25 甲壳动物 ↓	M26 软体动物 ↓	M27 腹足纲 ↓	M28 瓣鳃纲 ↓	M29 蚬属 ↓
		M30 端足目+软体动物 ↓	M31 甲壳动物+软体动物 ↓	M32 软体动物 (非肺螺)+甲壳动物+水生昆虫 (非摇蚊) ↓	M33 EPT ↓	M34 ETO ↓
耐 污 能 力	分类单元数	M35 耐污值 ≤3 ↓	M36 耐污值 ≥7 ↑	M37 耐污值 ≤5 ↓	M38 5<耐污值 <7 (-)	M39 3<耐污值 <7 (-)
	相对多度	M40 耐污值 ≤3 ↓	M41 耐污值 ≥7 ↑	M42 耐污值 ≤5 ↓	M43 5<耐污值 <7 (-)	M44 3<耐污值 <7 (-)
	指数	M45 BMWP ↓	M46 ASPT ↓	M47 FBI ↑	M48 BI ↑	
摄 食 类 群	分类单元数	M49 捕食者 ↓	M50 滤食者 ↓	M51 刮食者 ↓	M52 直接收集者 ↑	M53 撕食者 ↓
	相对多度	M54 捕食者 ↓	M55 滤食者 ↓	M56 刮食者 ↓	M57 直接收集者 ↑	M58 撕食者 ↓

注：<sup>①</sup>EPTO 分别指指蜉蝣目 Ephemeroptera、襁翅目 Plecoptera、毛翅目 Trichoptera 和蜻蜓目 Odonata；  
↑表示预期胁迫响应为上升，↓表示下降，(-)表示非单向变化。(3) 候选参数筛选

### 1) 分布范围分析

参照状态各候选参数值得分分布范围见表 16，指数 M3 甲壳动物分类单元数、M4 端足目分类单元数、M7 EPT 分类单元数、M8 ETO 分类单元数、M9 水生昆虫（非摇蚊）分类单元数、M10 摇蚊分类单元数、M13 Pielou 均匀度指数、M14 Simpson 指数、M23 水生昆虫（非摇蚊）%、M24 端足目%、M25 甲壳动物%、M28 瓣鳃纲%、M29 蚬属%、M33 EPT %、M34 ETO %、M35 耐污值 TV≤3 分类单元、M36（耐污值 TV≤3）%、M49 捕食者分类单元、M 50 捕食者 %、M51 滤食者分类单元、M52 滤食者%、M57 撕食者分类单元、M58 撕食者%的 75<sup>th</sup> 较小，可变范围较窄，对胁迫响应的变化空间较小，不适宜参与构建完整性指标体系，故剔除，其余指标进入判别能力分析。

表 16 湖荡参照状态各候选参数值分布范围

候选参数 编号	参数值分布范围							预期胁迫 响应
	平均值	标准差	最小值	最大值	分位数			
					25 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	75 <sup>th</sup>	
M1	19	6	13	35	15	17	22	减小
M2	8	3	3	12	6	8	10	减小
M3	3	2	1	6	2	3	5	减小
M4	1	1	0	2	0	0	1	减小
M5	8	3	5	13	6	8	10	减小
M6	10	3	5	15	7	10	13	减小

候选参数 编号	参数值分布范围							预期胁迫响应
	平均值	标准差	最小值	最大值	分位数			
					25 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	75 <sup>th</sup>	
M7	1	2	0	5	0	1	2	减小
M8	2	2	0	6	1	2	2	减小
M9	2	2	0	6	1	2	3	减小
M10	3	1	1	6	2	3	4	减小
M11	2.04	0.26	1.60	2.46	1.92	2.00	2.21	减小
M12	3.79	0.94	2.23	5.77	3.23	3.94	4.10	减小
M13	0.70	0.09	0.58	0.88	0.64	0.70	0.74	减小
M14	0.81	0.06	0.73	0.89	0.76	0.80	0.86	减小
M15	3.20	1.08	2.04	4.85	2.32	2.77	4.13	减小
M16	34.42%	10.74%	20.60%	49.00%	24.25%	36.25%	43.08%	增大
M17	63.69%	10.59%	48.70%	81.10%	55.23%	66.55%	68.53%	增大
M18	26.55%	23.28%	0.00%	61.30%	4.33%	26.85%	40.65%	增大
M19	26.81%	23.66%	0.00%	63.70%	4.33%	26.85%	40.65%	增大
M20	23.71%	21.34%	0.10%	51.70%	7.68%	14.20%	46.63%	增大
M21	23.71%	21.34%	0.10%	51.70%	7.68%	14.20%	46.63%	增大
M22	50.51%	28.13%	8.50%	93.20%	29.98%	58.05%	67.78%	增大
M23	4.89%	6.57%	0.00%	21.20%	0.68%	2.35%	6.03%	减小
M24	5.38%	11.54%	0.00%	32.10%	0.00%	0.00%	0.18%	减小
M25	15.72%	24.79%	0.20%	73.20%	1.03%	3.60%	15.80%	减小
M26	27.30%	16.19%	2.30%	44.00%	16.05%	27.80%	43.00%	减小
M27	24.93%	16.49%	1.70%	44.00%	13.88%	23.65%	40.90%	减小
M28	2.35%	3.86%	0.00%	12.40%	0.23%	0.45%	3.15%	减小
M29	1.71%	3.79%	0.00%	11.80%	0.00%	0.05%	0.53%	减小
M30	32.68%	17.13%	4.60%	64.80%	25.13%	31.65%	43.08%	减小
M31	43.01%	26.49%	4.90%	90.40%	29.60%	37.85%	58.13%	减小
M32	44.32%	28.32%	6.76%	85.63%	27.72%	31.12%	65.22%	减小
M33	1.69%	3.42%	0.00%	10.10%	0.00%	0.15%	0.53%	减小
M34	2.83%	3.30%	0.00%	10.10%	0.38%	1.80%	3.73%	减小
M35	0	0	0	1	0	0	1	减小
M36	2.09%	6.50%	0.00%	20.60%	0.00%	0.00%	0.00%	减小
M37	5	2	2	9	3	4	5	增大
M38	41.82%	22.56%	11.00%	70.40%	24.08%	40.40%	63.68%	增大
M39	6	3	4	12	4	5	7	减小
M40	24.20%	22.65%	0.90%	83.10%	14.78%	16.15%	23.70%	减小
M41	9	3	5	14	7	9	11	不确定
M42	33.97%	19.88%	5.90%	63.20%	18.38%	32.40%	48.30%	不确定
M43	15	5	9	25	12	13	16	不确定
M44	56.08%	22.43%	29.60%	89.00%	36.10%	53.75%	73.68%	不确定
M45	83.82	22.30	58.10	135.70	71.73	79.90	83.88	减小
M46	5.72	0.34	5.06	6.26	5.50	5.80	5.86	减小

候选参数 编号	参数值分布范围							预期胁迫 响应
	平均值	标准差	最小值	最大值	分位数			
					25 <sup>th</sup>	50 <sup>th</sup>	75 <sup>th</sup>	
M47	6.34	1.00	4.60	7.95	5.89	6.30	6.58	增大
M48	6.75	0.99	4.99	7.87	6.14	7.00	7.54	增大
M49	3	2	1	6	2	2	4	减小
M50	9.87%	9.51%	1.10%	26.70%	2.83%	6.30%	15.80%	减小
M51	2	1	1	4	1	1	3	减小
M52	3.76%	4.35%	0.10%	12.40%	0.65%	2.10%	4.13%	减小
M53	7	3	2	11	5	7	8	减小
M54	24.93%	16.49%	1.70%	44.00%	13.88%	23.65%	40.90%	减小
M55	5	3	2	11	3	4	6	增大
M56	37.53%	16.20%	14.40%	63.70%	29.43%	32.35%	48.03%	增大
M57	1	1	0	1	0	1	1	减小
M58	3.86%	6.95%	0.00%	20.60%	0.00%	0.40%	3.50%	减小

2) 判别能力分析

判别能力分析结果见表 17,  $IQ \geq 2$  的 16 个参数进入相关性分析, 其余参数剔除。

表 17 各候选参数判别能力分析结果

候选指数 编号	参照状态			受损状态			IQ
	25 <sup>th</sup>	中位数	75 <sup>th</sup>	25 <sup>th</sup>	中位数	75 <sup>th</sup>	
M1	15	17	22	7	9	12	3
M2	6	8	10	2	3	4	3
M5	6	8	10	2	4	5	3
M6	7	10	13	3	5	6	3
M11	1.92	2.00	2.21	1.00	1.28	1.58	3
M12	3.23	3.94	4.10	1.27	1.73	2.36	3
M15	2.32	2.77	4.13	1.57	1.91	2.42	2
M16	24.25%	36.25%	43.08%	41.33%	52.35%	63.88%	2
M17	55.23%	66.55%	68.53%	77.48%	87.30%	95.50%	3
M18	4.33%	26.85%	40.65%	0.00%	15.65%	39.18%	0
M19	4.33%	26.85%	40.65%	1.50%	18.00%	46.60%	0
M20	7.68%	14.20%	46.63%	0.00%	7.15%	36.95%	1
M21	7.68%	14.20%	46.63%	0.00%	7.15%	36.95%	1
M22	29.98%	58.05%	67.78%	7.78%	52.50%	95.83%	0
M26	16.05%	27.80%	43.00%	0.70%	4.60%	31.80%	1
M27	13.88%	23.65%	40.90%	0.20%	1.30%	6.50%	3
M30	25.13%	31.65%	43.08%	1.58%	9.75%	56.88%	1
M31	29.60%	37.85%	58.13%	2.78%	22.05%	66.50%	1
M32	27.72%	31.12%	65.22%	2.77%	22.98%	66.86%	1
M37	3	4	5	2	3	4	1
M38	24.08%	40.40%	63.68%	6.78%	32.20%	67.10%	0

候选指数编号	参照状态			受损状态			IQ
	25 <sup>th</sup>	中位数	75 <sup>th</sup>	25 <sup>th</sup>	中位数	75 <sup>th</sup>	
M39	4	5	7	2	2	4	2
M40	14.78%	16.15%	23.70%	1.55%	14.50%	38.73%	1
M41	7	9	11	2	4	6	3
M42	18.38%	32.40%	48.30%	3.00%	30.60%	68.45%	0
M43	12	13	16	5	6	9	3
M44	36.10%	53.75%	73.68%	32.90%	67.80%	93.23%	0
M45	71.73	79.90	83.88	31.60	42.15	53.13	3
M46	5.50	5.80	5.86	5.69	5.91	6.20	1
M47	5.89	6.30	6.58	5.62	6.25	7.08	0
M48	6.14	7.00	7.54	5.90	6.69	7.70	0
M53	5	7	8	1	2	2	3
M54	13.88%	23.65%	40.90%	0.20%	1.30%	6.50%	3
M55	3	4	6	2	4	5	0
M56	29.43%	32.35%	48.03%	21.25%	40.85%	78.43%	0

### 3) 相关性分析

对经过以上两个步骤筛选后的参数进行 Pearson 相关分析，具有显著相关性 ( $r \geq 0.75$ ) 则说明指数间信息重叠程度较大，选其中常用且代表性强的指标进入完整性指标体系。各候选参数间 Pearson 相关系数结果表明：M1 与 M12、M41、M43、M45 相关，其中 M1-总分类单元数使用广泛且表征的物种信息较全面，予以保留，M45-BMWP 指数不仅包含了物种科级分类单元信息，同时表达了物种对环境胁迫的敏感水平，也予以保留，其余剔除；M2 与 M5、M6、M53 相关，其中 M2-软体动物分类单元数在太湖流域湖荡生态系统中具有较好的指示意义，对生态状况具有较好的梯度响应，而甲壳动物分类单元数对湖荡的生态环境梯度响应不明显，未通过判别能力分析，因此剔除 M5、M6。湖荡物种名录中的刮食者主要为腹足纲，与 M2 部分重叠，因此，保留信息相对较全面的 M2，剔除 M53；M11 与 M15、M16、M17 相关，选择相对常用的 M17-前三位优势分类单元%，其余指标剔除。M27 与 M54 的相关系数为 1，两者信息完全重合，即本研究样本中刮食者全部为腹足纲动物，故选择 M27。M39 耐污值  $\leq 5$  分类单元数与其他指数均不相关，故保留。

因此，经过五步筛选共计获得 6 个指数，见表 18，分别为总分类单元数、软体动物分类单元数、前 3 位优势分类单元%、腹足纲%、耐污值  $TV \leq 5$  分类单元数和 BMWP 指数，这 6 个指数共同构成江苏省太湖流域湖泊大型底栖动物完整性指数。

表 18 候选参数相关性筛选

	拟保留指标	拟剔除指标
第一步	M1 总分类单元数 (3) M45 BMWP 指数 (3)	M12 Margalef 指数 (3) M41 耐污值 $5 < TV < 7$ 分类单元数 (3) M43 耐污值 $3 < TV < 7$ 分类单元数 (3)
第二步	M2 软体动物分类单元数 (3)	M5 (端足目+软体动物)分类单元数 (3) M6 (甲壳动物+软体动物)分类单元数 (3)

		M53 刮食者分类单元数 (3)
第三步	M17 前3位优势分类单元% (3)	M11 香农多样性指数 (3) M15 Berger-Parker 指数 (2) M16 优势分类单元% (2)
第四步	M27 腹足纲% (3)	M54 刮食者% (3)
第五步	M39 耐污值 TV≤5 分类单元数 (2)	/

注：指数后括号内为 IQ 值。

#### (4) 单指数目标值及分值计算

依据表 19 的方法计算各单项参数值，用比值法统一评价量纲。若计算结果大于 1，按 1 计，小于 0，按 0 计。

表 19 各参数期望值及分值计算方法

单项参数	期望值	计算方法
M1 总分类单元数	19	M1/19
M2 软体动物分类单元数	8	M2/8
M17 前3位优势分类单元%	60.0%	(1-M17)/(1-60.0%)
M27 腹足纲%	44.8%	M27/44.8%
M39 耐污值 TV≤5 的分类单元数	7	M39/7
M45 BMWP 指数	78	M45/78

#### (5) 完整性指数构建及评价分级

依据 (4) 中方法计算出的单项参数值，相加作为各监测点位的 B-IBI<sub>L</sub> 值，分级标准见表 20。基于以“最少干扰状态”为参照状态筛选的指标体系往往使评价结果相对“乐观”，特别是人类活动干扰比较强的区域，因此，需要提高水生态健康目标限值取值要求，最大程度使评估结果与可观实际保持一致。取监测样本 B-IBI 值的 95<sup>th</sup> 作为水生态评价基准值，即 4.64，采用 4 分法进行分级，评估水生态健康状况。

表 20 湖荡 B-IBI<sub>L</sub> 评价分级标准

等级划分	颜色表征	评价分级
优	蓝色	$4.64 \leq B-IBI_L$
良	绿色	$3.48 \leq B-IBI_L < 4.64$
中	黄色	$2.32 \leq B-IBI_L < 3.48$
一般	橙色	$1.16 \leq B-IBI_L < 2.32$
差	红色	$B-IBI_L < 1.16$

#### (6) 业务化转化及应用

业务化转化即在科学筛选的基础之上，优先选择易操作且对环境梯度响应较好的参数，替换操作繁琐、对物种分类鉴定和人员要求高的指标，提升指数的可操作性，便于相关业务部门在日常工作中实施。因此，在筛选的基础上，进一步优化指数，优化原则包括：①优先选择对物种分类鉴定要求相对低的参数；②选择便于采样，易于获取数据的参数；③使用尽量少的参数；④能够准确表征水生态状况，与表 19 中筛选获得的参数评价结果具有较好一致性。经过业务化转化后的指标体系以 B-IBI<sub>L</sub>y 表示。

1) 业务化转化

基于以上原则和目标，对 B-IBI<sub>L</sub> 进行进一步简化，综合权衡各指标的操作难度和人员要求等因素，最终进入业务化的指标包括 M2 软体动物分类单元数、M16 优势分类单元%和 M45 BMWP 指数，见表 21。

表 21 B-IBI<sub>L</sub> 中各参数的操作难易度分析

单项参数	参数类型	分类鉴定难度	监测人员要求
M1 总分类单元数	群落丰富度	类群多，鉴定难度大	需专业培训，长期积累
M2 软体动物分类单元数		个体较大，鉴定较简便	针对性培训后即可上岗
M17 前 3 位优势分类单元%	物种组成	仅需区分种类并计数	针对性培训后即可上岗
M27 腹足纲%		同 M2	针对性培训后即可上岗
M39 耐污值 TV≤5 的分类单元数	耐污能力	需依据 M1 的结果，难度大	需专业培训，长期积累
M45 BMWP 指数		鉴定至科级，较 M39 简便	针对性培训后即可上岗

2) 业务化完整性指数构建及评价分级

B-IBI<sub>Ly</sub> 各参数期望值及分值计算方法见表 22。

表 22 B-IBI<sub>Ly</sub> 各指数期望值及单参数分值计算方法

单项参数	参数期望值	计算方法
M2 软体动物分类单元数	8	M2/8
M16 优势分类单元%	24.3%	(1-M16)/(1-24.3%)
M45 BMWP 指数	78	M45/78

业务化指标体系 B-IBI<sub>Ly</sub> 的水生态评价基准值计算同表 19，95<sup>th</sup> 为 2.60，采用 4 分法进行分级，评价分级标准见 23。

表 23 B-IBI<sub>Ly</sub> 评价分级标准

等级划分	颜色表征	评价分级
优	蓝色	$2.60 \leq B-IBI_{Ly}$
良	绿色	$1.95 \leq B-IBI_{Ly} < 2.60$
中	黄色	$1.30 \leq B-IBI_{Ly} < 1.95$
一般	橙色	$0.65 \leq B-IBI_{Ly} < 1.30$
差	红色	$B-IBI_{Ly} < 0.65$

(7) 指标体系的适用性

分别使用 B-IBI<sub>L</sub> 及 B-IBI<sub>Ly</sub> 计算各监测点位的 B-IBI 值，检验两个指标体系评价结果的一致性。对比两个指标体系对参照状态和受损状态的区分度可以发现，两个指标体系对环境梯度均具有较好的响应且评价结果的分布基本一致（图 9），两者之间呈显著的线性关系（ $r=0.921$ ,  $p<0.0001$ ）。使用 B-IBI<sub>L</sub> 和 B-IBI<sub>Ly</sub> 计算获得的参照状态总体均处于“优”~“良”状态，受损状态主要处于“中”~“一般”状态。

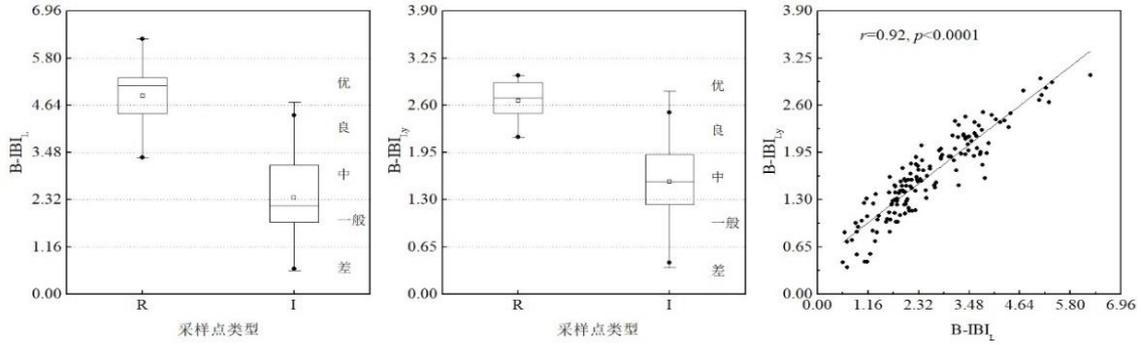


图 9 B-IBIL 及 B-IBILy 评价结果的区分度分析

#### 5.12.4 水生态环境质量综合评价

综合评价部分是综合三要素的监测评价结果，进行水生态环境质量综合评估。目前 EPA 通常是采用以生物表征水生态的方式进行评价，欧盟以三要素最低评价结果进行评价，由于各国管理的目标不同，这些综合评价方法并不适合完全采纳。国内，生态环境部印发的《流域生态健康评估技术指南（试行）》中采用了操作方便的加权赋分的方法对多要素进行综合打分，水利部《河湖健康评估技术导则（征求意见稿）》中也采用了同样的方式进行，这样的综合评价方式更易于操作，更符合目前管理的需求，所以本指南也采用加权赋分基本思路进行综合评价，通过构建湖库水生态环境质量综合评估指数（Water eco-environment quality index,  $WEQI_{lake}$ ），以该指数表示各评估单元和水环境整体的质量状况，实现综合评价。具体技术内容规定如下：

##### 5.12.4.1 评价方法

采用综合指数法进行水生态环境质量综合评估，通过水化学指标、物理生境指标和水生生物指标加权求和，构建湖库水生态环境质量综合评价指数  $WEQI_{lake}$ ，以该指数表示各评估单元和水环境整体的质量状况。

湖库水生态环境质量综合评价指数  $WEQI_{lake}$  按照公式（7）计算：

$$WEQI_{lake} = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (7)$$

式中， $WEQI_{lake}$ ——湖库水生态环境质量综合评价指数；

$x_i$ ——评价指标分值；

$w_i$ ——评价指标权重。

综合评价时暂时考虑水化学指标、大型底栖动物指标、浮游植物和浮游动物指标，其分值范围及建议权重见表 24 所示。

表 24 湖库水生态环境质量综合评价公式说明表

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

对于综合评价给出说明：水化学指标赋分取水水质评价和营养状态评价中赋分最低的一项

作为赋分结果。水生生物指标若单独用大型底栖动物、浮游植物或浮游动物评价，建议权重为 0.4；若同时使用 2 种及以上生物类群评价，建议采用最差评价结果代表水生生物评价结果，深水湖泊和水库建议优先选择浮游植物和浮游动物评价结果。湖心点位因其不作生境评价，进行水生态环境质量综合评价时只考虑水化学指标和水生生物指标即可，这两项指标建议权重分别为 0.5。

#### 5.12.4.2 评价标准

根据湖库水生态环境质量综合评价指数（ $WEQI_{lake}$ ）分值大小，将水生态环境质量状况等级分为五级，分别为优秀、良好、一般、较差和很差等，具体指数分值和质量状况分级详见表 25。

表 25 湖库水生态环境质量状况分级标准

水生态环境质量状况	优秀	良好	一般	较差	很差
综合指数（ $WEQI_{lake}$ ）	$WEQI > 4$	$4 \geq WEQI > 3$	$3 \geq WEQI > 2$	$2 \geq WEQI > 1$	$WEQI \leq 1$
表征颜色	蓝色	绿色	黄色	橙色	红色

#### 5.12.4.3 生物评价方法的选择和校验

根据研究区域尺度和具备的条件，参照图 10 方法选择技术路线及适用的生物评价方法。

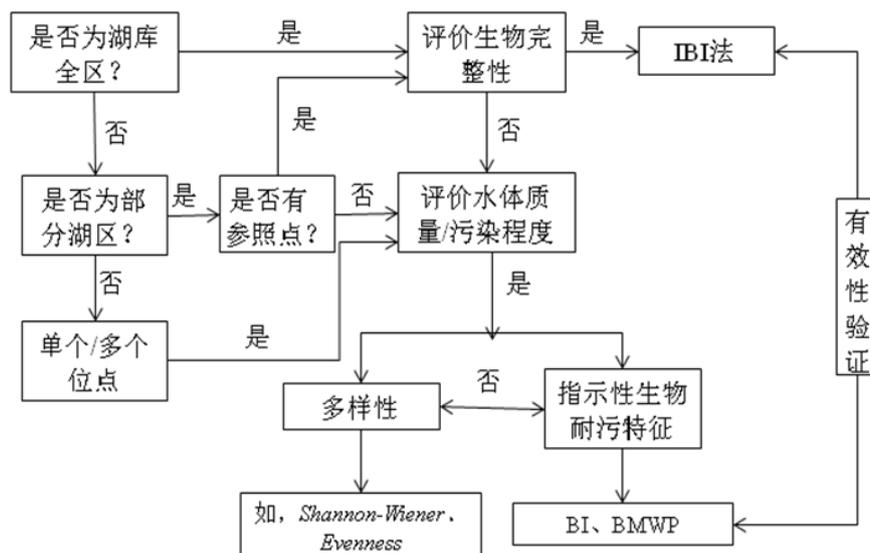


图 10 生物评价方法选择技术路线

## 6 技术指南实施建议

本指南针对湖库水生态环境，规定了水生态环境监测的监测要素，包括监测频次与时间、点位设置、参照环境的确定；水环境质量状况调查，生境调查的内容；重点规定了大型底栖无脊椎动物、浮游植物、浮游动物及大型水生植物的野外采样方法、保存方式、实验室内鉴定方法；质量保证和质量控制等技术内容。同时规定了湖库水生态质量评价使用的生物评价方法、生境评价方法、水质综合营养状态指数评价方法，以及生物评价方法选择和校验方式。

本指南可以为支撑国家现有水生态管理和监测任务需求,规范全国湖库水生态环境质量的监测和评价提供必要的技术支持。

## 7 参考文献

- [1] Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), 2002.
- [2] Clean Water Act, Federal government of the United States, 1972.
- [3] USEPA. Policy on the Use of Biological Assessments and Criteria in the Water Quality Program. EPA 822-R-91-101. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1991.
- [4] USEPA. Biological Assessments and Criteria: Crucial Components of Water Quality Programs. EPA 822-F-02-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2002.
- [5] USEPA. Biological Criteria: National Program Guidance for Surface Waters. EPA 440/5-90-004. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1990.
- [6] USEPA. Lake and Reservoir Bioassessment and Biocriteria: Technical Guidance Document. EPA 841-B-98-007. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans, and Watersheds, Office of Science and Technology. Office of Water, Washington, DC, 1998.
- [7] USEPA. Rapid bioassessment Protocols for use in Wadeable Streams and Rivers, 2nd Edition. EPA 841-B-99-002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 1999.
- [8] USEPA. Summary of Biological Assessment Programs and Biocriteria Development, for states, tribes, territories, and interstate commissions, Streams and Wadeable Rivers. EPA 822-R-02-048. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Information & Office of Water, Washington, DC, 2002.
- [9] Development of a Standardized Large River Bioassessment Protocol (LR-BP) for Macroinvertebrate Assemblages. River Research and Applications, 2006, 22(7): 775-790.
- [10] USEPA. Estuarine and Coastal Marine Waters: Bioassessment and Biocriteria Technical Guidance. EPA-822-B-00-024. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Information & Office of Water, Washington, DC, 2000.
- [11] Thomas J. Danielson. Wetland Bioassessment Fact Sheets. EPA-843-F-98-001. U.S. Environmental Protection Agency, Wetlands Division, Washington, DC, 1998.
- [12] USEPA. Stressor Identification Guidance Document. EPA 822-B-00-025. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Research and Development, Washington, DC, 2000.
- [13] USEPA. 2012 National Lakes Assessment-Field Operations Manual. EPA 841-B-11-003. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2012.
- [14] USEPA. 2012 National Lakes Assessment-Laboratory Operations Manual. EPA 841-B-11-004. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC,

- 2012.
- [15] USEPA.2012 National Lakes Assessment-Site Evaluation Guidelines. EPA 841-B-11-005. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2012.
- [16] USEPA.2012 National Lakes Assessment-Quality Assurance Project Plan. EPA 841-B-11-006. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC, 2012.
- [17] USEPA. National Lakes Assessment 2012: Technical Report. EPA 841-R-16-114. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Wetlands, Oceans and Watersheds & Office of Research and Development, Washington, DC, 2017.[18] USEPA. National Lakes Assessment: Technical Appendix--Data Analysis Approach. EPA 841-R-09-001a. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water/Office of Research and Development, Washington, DC, 2010.[19] USEPA. National Lakes Assessment 2012: A Collaborative Survey of Lakes in the United States. EPA 841-R-16-113. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., 2016.
- [20] 环境保护部，自然生态保护司．流域生态健康评估技术指南．2013.
- [21] 中华人民共和国水利部．河湖健康评估技术导则（送审稿）．2019.
- [22] 江苏省环境保护厅，江苏省太湖水污染防治办公室．江苏省太湖流域水生态环境功能区划（试行），2016.
- [23] 江苏省环境监测中心，常州市环境监测中心等．太湖流域（江苏）水生态健康评估技术规程（试行），2016.
- [24] 水质 采样方案设计技术规定．中华人民共和国国家环境保护标准，HJ 495-2009．环境保护部，2009.
- [25] 地表水和污水监测技术规范．中华人民共和国国家环境保护行业标准，HJ/T 91-2002．国家环境保护总局，2003.
- [26] 水质 湖泊和水库采样技术指导本指南．中华人民共和国国家标准，GB/T 14581-93．国家环境保护局，1993.
- [27] 地表水环境质量标准．中华人民共和国国家标准，GB 3838-2002．国家环境保护总局，国家质量监督检验检疫总局，2002.