

《水生态监测与评价技术规范》（试行）

编制说明

《水生态监测与评价技术规范》（试行）标准编制组

2024年4月

项目统一编号：2022-Z055

承担单位：海南省生态环境监测中心、海南省环境科学研究院、中国环境监测总站

编制组主要成员：王丽娜、王立成、陈表娟、金小伟、王明阳、莫凌、刘彬、冯莹、王少露、杨丰彰、马字伟、陈晓璐、雷宇、何书海、谢福武、郭欣、史建康、欧阳珺、穆晓东、左永令、阴琨、贾世琪、谢丽芸、符诗雨。

目 录

1. 项目简况.....	1
2. 编制情况.....	1
2.1 编制标准的必要性和意义及背景	1
2.2 编制过程简介.....	5
2.3 制定标准的原则和依据，与现行法律法规、标准的关系	6
2.4 标准研究报告.....	15
3. 主要试验、验证及试行结果.....	37
3.1 监测概况.....	37
3.2 试行评价结果.....	37
4. 标准中设计专利情况.....	40
5. 采用国际标准或国外先进标准情况	40
6. 重大分歧意见的处理依据和结果	40
7. 贯彻标准的要求和措施建议.....	40
8. 预期效果.....	40
9. 其他予以说明的事项.....	40
10. 参考文献.....	40
附表 1 标准起草人.....	44
附表 2 海南省重点流域底栖动物耐污值推荐表	45
附表 3 主要水库浮游生物评价结果与水质类别	52

《水生态监测与评价技术规范》（试行）

编制说明

1. 项目简况

标准名称：《水生态监测与评价技术规范》（试行）

任务来源（项目计划号）：2022-Z055

起草单位：海南省生态环境监测中心

单位地址：海南省海口市美兰区白驹大道 98 号

参与起草单位：海南省环境科学研究院、中国环境监测总站

标准起草人：王丽娜、王立成、陈表娟、金小伟、王明阳、莫凌、刘彬、冯莹、王少露、杨丰彰、马字伟、陈晓璐、雷宇、何书海、谢福武、郭欣、史建康、欧阳珺、穆晓东、左永令、阴琨、贾世琪、谢丽芸、符诗雨。人员分工见附表 1。

2. 编制情况

2.1 编制标准的必要性和意义及背景

2.1.1 项目背景

我国的水环境监测工作经过近几十年的发展，已形成了一套较为完善的水质分析评价体系。目前，水生态环境保护工作仍以水质物理化学参数作为水环境质量评价标准，但水中的污染物有成千上万种，出于监测成本及工作量考虑，无法对水体中的每一种污染物进行监测，即使常规的水质参数全部检测合格也无法完全反映水体质量的真实情况。随着流域水生态问题的涌现及人们对水生态系统认识的加深，水生态监测逐渐成为生态环境主管部门关注的焦点。

所谓水生态监测，即对水生态系统的监测，包括其中的生物和非生物部分。因此水生态监测不仅仅是对水体化学性质的监测，更是对河湖物理生境、水生生物群落等要素的监测。其中，水生生物是河湖生态环境中最直接的受体，其在分子、细胞、器官、个体、种群、群落等不同生物学水平上的变化均能反映各种污染物对水生生物长期累积的综合生态效应，是十分有效的河湖生态环境状况的监测工具。水生生物群落中的水生微藻、底栖动物、水生维管束植物、鱼类等生物

均可作为良好的河湖生态环境质量指示生物,其中藻类、底栖动物以生命周期短、固着性强、位于食物链底端等特点在水生态监测中得到广泛的应用。目前应用较多的是利用水生生物群落结构的变化来监测生态环境质量变化:水质状况发生变化,水生生物群落结构也会发生相应的改变;在有机物污染严重、溶解氧很低的水体中,水生生物群落的优势种往往由低需氧的耐受种类组成;在未受污染的水体中,水生生物群落的优势种则往往是一些清洁种类;在利用指示生物和群落结构监测水体污染时,还引用了生物指数和物种多样性指数等数学手段,量化水生态健康状况的评价结果。

随着深入打好污染防治攻坚战的工作开展,补齐水生态环境监测短板是十四五时期掌握流域水生态状况及变化趋势、支撑流域水生态保护与修复工作的要求。海南省亟需基于省内水生态环境状况,充分研究海南省地表水生态问题,构建符合海南省水生态管理需求的水生态监测与评价技术体系。

2.1.2 标准制订的必要性分析

2.1.2.1 水生态监测的重要意义

2015 年国务院发布的《水污染防治行动计划》(简称“水十条”)中明确提出“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。《生态环境监测规划纲要(2020—2035 年)》中提出“地表水监测要逐步实现水质监测向水生态监测的系统转变,建立以流域为单元的水生态监测指标体系和评价体系”。水生生物监测与评价是通过监测水生生物来评价水体的综合质量,但水生生物监测不是理化监测的补充,而是不同视角的深化监测,是一项综合性监测,有助于水环境管理目标从“污染防治”向“水生态系统保护”的转变。与传统的理化监测方法相比,生物监测的指示作用具有综合性和快速性的特点,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完整性,具有更灵敏、直观、客观、准确等特点。

从 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、南非等发达国家和地区先后开展了河流水生生物监测与评价研究计划。如:美国环保局(USEPA)于 1990 年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河流和湖泊的生态环

境质量状况及变化趋势；欧盟成员国于 2000 年开始实施《水框架法令》(WFD)，其主要目标是到 2015 年，《水框架法令》要求各成员国水环境（河流、湖泊、地下水和近岸海域）处于良好状态。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与评价，并逐渐形成国家监测网络。如韩国于 2003—2006 年完成了“国家水生态监测工程”(NAEMP)，采用生物和生境指标来评价河流和流域的生态环境质量。近年来，我国水环境管理不断加强，水污染治理投入逐年增加，流域水环境质量开始改善，生态系统逐渐恢复。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，而且我国当前整体流域监测网络仍不完善，流域污染源监测体系仍不健全，流域水生态监测工作起步较晚。因此，亟需制定包含物理生境、水质理化及水生生物三要素的水生态监测与评价技术规范，准确评估流域水生态环境质量状况、规范水生态监测和评价工作。

2.1.2.2 相关环保标准和环保工作的需要

(1) 是落实中央建设美丽中国，践行生态文明的需要

2018 年 5 月 18 日，习近平总书记在全国生态环境保护大会上指出：“要深入实施水污染防治行动计划，保障饮用水安全，基本消灭城市黑臭水体，还给老百姓清水绿岸、鱼翔浅底的景象。”党的十九届五中全会根据 2035 年建成美丽中国远景目标，要求全面提升生态系统质量和稳定性，加强大江大河和重要湖泊湿地生态保护治理，开展生态系统保护成效的全面评估。习近平总书记多次就长江、黄河等流域生态保护修复工作作出重要指示，要求坚持山水林田湖草是生命共同体，从生态系统整体性和流域系统性出发，追根溯源、系统治疗，提升生态系统质量和稳定性。这预示着新时代治水不仅要求水质进一步提高，还要求河流生态系统得到恢复，生态功能健全。河湖生态指标将成为考量生态环境质量优劣的重要要素。

随着“十三五”水污染防治攻坚战的实施，海南省一批脏、臭水体正逐年变好，优良水体比例逐年提高。但随着水污染治理成效进一步显现，常规水质参数逐渐无法全面反映河流存在的问题及演变情况，无法找出目前水生态存在的问题和症结。因此需将目光从传统的 COD、氨氮等理论指标，转向水生生物、河湖生境等生态指标，摸清水生态底数、掌握水生态状况。水生态监测是新时代治水思路的要求，系统推进水生态监测工作显得日益紧迫。

(2) 是落实《生态环境监测规划纲要》的需要

生态环境部编制的《生态环境监测规划纲要(2020-2035年)》(环监测(2019)86号)对水生态监测工作进行了安排部署,即“十四五”时期地表水环境监测的主要任务要按照“三水共治”的要求,将生物完整性、土著鱼类和水生植物重现率等水生态指标纳入规划指标体系,推动水质监测向水生态监测过渡,建立满足物理、化学、生物完整性要求的水生态监测技术体系、标准体系、评价体系,并逐步向重点流域、重点区域、重要水体铺开,至“十四五”末期,初步形成水生态监测网络。。同时,生态环境部生态环境监测司表示目前在积极构建生态质量综合评价指标体系,将生物多样性指标纳入生态质量综合评价指标体系中,从以往的水环境质量评价管理向水生态质量监测评价转变。

根据生态环境部关于水生态监测评价工作的部署,各地方生态环境部门在“十四五”期间应加强水生态监测体系能力建设,补充建设行政区域内水生态监测网络,组织开展水生态业务化监测工作。由此可见,开展水生态监测是落实《生态环境监测规划纲要》的迫切需要。

(3) 是发挥海南省生态文明试验区表率作用的需要

2018年4月13日,习近平总书记在海南建省办经济特区30周年大会上指出,海南拥有全国最好的生态环境,同时又是相对独立的地理单元,具有成为全国改革开放试验田的独特优势,在生态文明体制改革上先行一步,为全国生态文明建设作出表率,率先建立现代生态环境和资源保护监管体制。2019年5月12日,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《国家生态文明试验区(海南)实施方案》,明确了海南建设国家生态文明试验区的战略定位,即生态文明体制改革样板区、陆海统筹保护发展实践区、生态价值实现机制试验区和清洁能源优先发展示范区。通过构建国土空间开发保护制度、推动形成陆海统筹保护发展新格局、建立完善生态环境质量巩固提升机制、建立健全生态环境和资源保护现代监管体系、创新探索生态产品价值实现机制和推动形成绿色生产生活方式等重点任务,确保海南省生态环境质量只能更好、不能变差,人民群众对优良生态环境的获得感进一步增强。2020年6月1日,中共中央、国务院印发的《海南自由贸易港建设总体方案》指出要“创新生态文明体制机制,健全生态环境监测和评价制度”。2021年11月2日印发的《中共中央、国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》指出“聚焦国家重大战略打造绿色发展高地,加强海南自由贸易港生态环境保护 and 建设”;“提高生态环境治理现代化水平,建立完善现代化生态环境监测体系,补齐水生态环境监测短板”。2022年4月11日,习近平总书记考察海南热

带雨林国家公园五指山片区时了解了海南保护自然环境和生物多样性情况，并强调海南要坚持生态立省不动摇，把生态文明建设作为重中之重。

长期以来，我国水生态环境监测侧重于水质理化指标的监测，业务化的水生态监测进程缓慢。国内监测科研机构对海南岛内的南渡江、万泉河、昌化江等流域不同程度地开展了水生态监测工作，对浮游动植物、底栖动物、鱼类等生物类群进行了监测，已有一定的工作基础；但现有的水生态监测工作缺乏系统性、监测点位、检测指标针对性不强，且监测数据不连续，无法为水生态监测评价工作体系的业务化运行提供支撑。另外，海南省属热带岛屿生态系统，异于我国大陆其它地区，应该从海南省水生态系统特点出发，建立具海南特色的水生态监测评价体系。因此，应该做好海南省水生态监测评价的顶层设计，建立一套科学适用的水生态监测与评价工作体系。

综上所述，水生态监测与评价是新时期水生态保护与修复的科学支撑，但目前水生态监测仍缺少技术体系、标准体系和评价体系，且各流域自然条件复杂各异，海南省有必要做好水生态监测与评价工作的顶层设计，探索适合热带海岛生态系统的水生态监测与评价技术，为推进水生态监测业务化运行奠定基础。

2.2 编制过程简介

2022年9月29日，收到《关于下达2022年第二批海南省地方标准制修订计划的通知》后，成立标准编制小组，成员有王丽娜、陈表娟、刘彬、王少露、冯莹、杨丰彰和雷宇等。

标准起草过程：2022年通过立项，制定了海南省地方标准制修订实施方案，明确了技术路线和初步的制定计划，标准制定计划周期为一年半。随着国家对“三水”统筹的水生态监测与评价的重视，中国环境监测总站出台了水生生物监测技术文件指导全国水生生物监测。长江流域水生态监测与评价体系逐步形成并发布了考核评价指标和方法。

2023年1月海南省生态环境厅在厅长专题会上要求将水生态试点监测与评价工作做为生态环境厅年度创新亮点工作重点推进，会议要求成立工作组，将原已立项的本标准名称由《河流水生态健康综合评价指南》修改为《海南省水生态监测与评价技术规范》，编制单位增加海南省环境科学院和中国环境监测总站。在水生态监测与评价专项工作组的合作支持下于2023年7月由生态环境厅对外发布技术文件《海南省水生态监测与评价方法（试行）》水字4号，并发布了万

泉河流域春季水生态试点监测评价结果。

2023年海南省生态环境监测中心开展了全省地表水70条河流共188个点位的水生生物摸底调查，对标准的本地化参数进行充分论证。并积极与水务厅交换了水资源数据和评价结果。在标准编制的初期、中期和征求意见稿上会期间先后召开了3次专家咨询会议，在指标体系的建设、评价结果的讨论方面进行了充分的咨询和论证。2024年4月编制完成《2023年万泉河流域水生态试点监测报告》并形成要情上报省政府。2024年5月编制组形成了《海南省水生态监测与评价技术规范（试行）》（征求意见稿）以及编制说明对外广泛征求意见。

2.3 制定标准的原则和依据，与现行法律法规、标准的关系

2.3.1 国内外相关标准方法研究

2.3.1.1 国外相关标准方法

国外开展河流水生态系统环境质量监测和评价较早，形成了较为成熟的方法与技术体系。为了全面评价河流生态结构、服务功能和压力状况的变化，国外开展的监测评价主要涉及水质理化环境、生物状况及水文物理特征等方面。国内相关工作起步晚，目前可参考的相关文件有限，主要体现在流域生态系统健康评价中涉及水文水资源因素及服务功能等要素。根据不同的评价目的，选择相应的方法体系，从而开展综合监测与评价，反映河流生态环境质量变化。

河流水生态环境质量评价是发达国家流域管理的重要技术支撑手段，不仅可以对河流水生态系统的现状及存在的问题进行诊断评价，还可以对河流水生态修复的进程进行监测评价，为河流健康管理提供信息支撑，是河流生态系统管理的重要内容。为加强水生态环境保护，发达国家相继颁布了相关法令和支撑性技术导则。欧洲《水框架法令》（Water Framework Directive）制定了流域管理计划，规定了各成员国应保护、加强和恢复所有地表水体，其目的是在同一法律框架内协调欧盟各国共同行动，通过流域综合管理，防止水生态状态进一步恶化，保护并改善其状况，促进水资源的可持续利用。欧洲《水框架法令》的近期目标是最迟在2015年前地表水达到“良好的生态状态”。欧洲《水框架法令》中用“生态状态”代表“与地表水体有关的水生生态系统结构、功能和质量”，水体健康评价应选择与具体的压力胁迫最相关的指标。根据流域规模、已有监测方法和监测数据以及外界重大压力胁迫，可将监测指标分为水体物理—化学质量要素、生物

质量要素以及水文形态学质量要素三大类，见下表 1。

表 1 欧洲《水框架法令》中河流健康指标体系

要素	河流
水体物理-化学质量要素	总体状况：热状况、氧化状况、盐度、酸化、营养状态
	特征污染物：重点物质造成的污染、大量排入水体的其他物质造成的污染
生物质量要素	浮游植物组成与数量
	大型底栖无脊椎动物组成与数量
	鱼类的组成、数量与年龄结构
水文物理学质量要素	水文状况：水量及动力学特征、与地下水体的联系
	河流连续性
	形态情况：河流深度与宽度变化、河床结构与底质、河岸带结构

欧洲《水框架法令》建议其成员国将透明度、水温、溶解氧、盐度、TP、 PO_4^{3-} 、TN、 NO_3^- 、 NO_2^- 、 NH_4^+ 、 SiO_3^{2-} 和叶绿素 a（除特定污染物除外）作为其国家监测方案的一部分。在欧洲，利用生物评估河流有机污染的程度有着悠久的历史，虽然其方法和细节可能因国家而异，但评估目的一致。目前，大型底栖无脊椎动物是欧洲河流生物监测中最常用的生物指标。大型底栖无脊椎动物的敏感性使之成为评估河流质量非常有用的工具。此外，一些成员国使用水生植物监测评价河流质量和小型河流富营养化的变化，但水生植物在大型、深水河流或流量变化较大的较浅河流中应用较少。着生藻类在欧洲国家河流监测中使用有限，但在特殊情况下特别是在描述水体富营养化程度方面很有价值。除此之外，浮游植物的种类和丰度也是河流富营养化的重要指标，但仅限于流动缓慢的大型河流。在欧洲，使用鱼类作为河流生态系统监测指标的情况相对较少。虽然研究人员清楚地认识到鱼类是河流生态系统健康的重要指标，但由于鱼类取样困难，再加上其在河流中的游动以及受渔业和放养等因素的影响，使得结果很难解释。

WFD 的流域管理监测周期和频次以 6 年为一个周期，每隔 6 年评估一次水体，若某水体不能达到环境要求等级，则需查明原因并采取措施改善其环境状况。生物要素的监测频次则根据不同生物类群的生长周期定为 6 个月至 3 年监测一次。监测计划：《水框架法令》根据不同的目的提出了三种类型的监测计划：① 监督监测（Surveillance），评估所有水体的环境状况，相当于普遍意义上的常规监测；

②运行监测 (Operational), 针对可能无法达到环境目标或存在环境风险的水体, 确定其水体状况; ③调查监测 (Investigative), 根据某一特定需求而开展, 如确定污染源、污染程度及影响等。

美国对河流健康的关注最早可追溯到上世纪 80 年代, 美国颁布的《清洁水法》(Clean Water Act), 明确提出立法的目标是恢复和维护美国水域化学、物理和生物的完整性, 其实质是生态完整性。在《清洁水法》的框架内, 通过水体目标用途的设定为水生生物恢复和保护建立法律地位, 类似化学水质标准, 根据所设定的水生生物用途来设定相应的生物标准, 使得其生物完整性与物理、化学完整性在法律上具有同等地位。为支撑《清洁水法》的实施, 20 世纪 80 年代末期以来, 美国环保局及各州环保局针对河流健康评价中存在的问题进行了大量研究, 制定了系列技术导则以完成国家河流和溪流水生态监测和评估。美国环保局 (US EPA) 流域评价与保护分部于 1989 年提出了旨在为全国水质管理提供基础水生生物数据的快速生物监测规程 (Rapid Bioassessment Protocols, RBPs)。经过近 10 年的发展和完善, EPA 于 1999 年推出新版的 RBPs, 给出新的快速生物监测规程, 该规程提出了河流中着生藻类、大型无脊椎动物与鱼类的监测及评价方法和标准。着生藻类可作为涉水河流的生物评价指标, 尤其是硅藻属, 由于它们在多数水生生态系统中都会大量出现, 是有效的生态评价指示生物。美国研究人员开发并检验了着生藻类的生物完整性指数, 用群落组成的变化来诊断影响生态健康的环境胁迫因子, 并评价其生态系统完整性。着生藻类评价可以单独使用, 但结合一个或多个其他的类群使用时更为有效, 尤其应结合生境评价和大型底栖动物评价。另外, 自 1989 年以来, 采用大型底栖动物进行快速生物评价已经成为最受美国各州立水资源机构欢迎的标准方法。由于大型河流的自然结构和功能与小型的可涉水河流系统有着显著差异, 导致许多可涉水河流的技术标准对大型河流系统不适用, 但许多河流评价中将可涉水河流的技术方法简单应用于大型河流的生物评价, 导致大型河流系统评估不够全面、科学。因此, EPA 于 2006 年提出了《深水型 (不可涉水) 河流生物评价概念及方法》, 规范了大型河流中 7 个常见的物理生境特性, 包括河道尺度、河道梯度、河道底质类型、生境复杂性、河岸植被的覆盖及结构、人类变更和河道—河岸的交互作用。在生物监测方面, 大型河流可能仅仅在沿岸区域适合着生生物生长, 一些河流中可能只有很少底质适合采样, 这可能限制了着生藻类在生态评价中的应用。因此, 《深水型 (不可涉水) 河流生物评价系统》推荐浮游藻类作为指示生物, 藻类对外界干扰敏感,

这些干扰包括流量调节、生境变更、物种入侵以及由营养盐、金属和除草剂等引起的污染。浮游藻类对大型河流的营养结构同样很重要，可在一个河段中的多个位置进行复合采样。大型底栖动物尽管在溪流的生物评价中应用广泛，但很少应用于大型河流。一般认为，在大型河流中大型底栖动物缺乏多变性，耐受力更强，且在大型河流中采集大型底栖无脊椎动物比较困难。《深水型（不可涉水）河流生物评价系统》将 USEPA-EMAP、USEPA-RBP 和 USGS-NAWQA 几种采样方案混合成 LR-BP 法。LR-BP 是半定量的多生境采样方法（应用于一个系统的随机方式）的联合，通过对该方法的特性和可变性进行研究，并在标准化、定量化和使用者的喜好方面进行了优化设计，合并为成比例的多生境采样，能够准确地反映点位状况。LR-BP 使断面采样应用于一个系统的、无偏差的生物评价中。该方法对梯度干扰的响应敏感，能用于多种大型河流的监测评价。

美国环保局（US EPA）于 2018 年和 2019 年颁布的《National Rivers and Streams Assessment, Field Operations Manual (Non-) Wadeable》（EPA-841-B-17-003a、EPA-841-B-17-003b[18-19]），概述了可涉水和不可涉水河流野外现场数据测量和采样方法，并要求数据的采集需要包括现场测量指标（pH、溶解氧、水温及电导率）；水体理化指标（TP、TN、NH₃-N、NO₃-N、NO₂-N、基本的阴阳离子、二氧化硅及碱度等）；叶绿素 a、藻类毒素、大型底栖动物、鱼类、固着生物、物理栖境及粪便指标（肠球菌）等。

英国 RIVPACS 与澳大利亚 Aus Riv AS 是水生态预测模型评价方法的两个代表。RIVPACS 是由英国淡水生态研究所提出和建立的，Aus Riv AS 是在 RIVPACS 基础上发展起来的，更适应澳大利亚的河流特点。预测模型评价方法在澳大利亚和英国得到了广泛的应用，但仍具有一定的局限性。模型利用单一物种（底栖无脊椎动物）对河流健康状况进行评价，如果这类生物对河流的变化没有敏感的反应时，这类方法就无法反映河流的真实状况，这是评价预测模型法的主要缺陷。

RIVPACS 和 Aus Riv AS 方法已经越来越多的被应用到生物监测计划中，英国、澳大利亚及其它一些国家都开展了应用，涉及的变量也各不相同，使得方法更适用于各自的河流特点。在可涉水河流的研究中，一些学者基于大量的生物数据和大量的位点资料开发了预测模型方法。他们调查分析了来自 925 个监测位点、9 年间的积累数据，为确保模型的准确性，研究还采集了大量数据用于模型的校准、模型的验证、及对参考位点 O/E 值变化的检查。研究结果表明，该方法在空间和时间上都可以准确地检测到干扰和压力的影响，可以在较广阔和生态多样

性较高的区域进行有效评估，证明了该模型方法的有效性和适用的广泛性。澳大利亚威廉姆斯河及阿莱恩河的评价研究也显示，Aus Riv AS 法是一种非常有效的河流健康定量评价方法，在监测河流干扰影响及制定河流管理目标中非常有用。虽然一些学者研究证实了预测模型方法在河流生态质量评价及河流管理中的重要作用，但也有一些学者研究发现了该方法的一些缺陷。如有学者在对维多利亚境内河流的研究时发现，预测模型的建立受到空间尺度和环境梯度的影响，所以一个预测模型仅适用于特定的空间区域，不能外推到不同空间尺度，而且预测模型方法非常依赖环境类型和大型无脊椎动物组成间的关系，这就意味着不同类型的环境区域需要建立不同的模型，在流域和国家尺度范围用同样的方法进行河流监测会存在适用性的问题。其次，模型建立需要连续多年的数据资料积累才能实现方法评价的敏感性和准确性，如果缺乏足够的环境数据和生物数据，如只有一年监测数据或单次监测数据，则模型预测方法不能准确判定干扰范围，评价的敏感性也不足。葡萄牙学者在研究中也发现了类似的问题，在蒙德古河(Mondego)流域开展的研究发现，由于缺乏参照位点的数据，模型在流域下游地区的评价效果不佳，没有很好的判别出干扰位点。预测模型方法可以对一个特定环境类型进行准确评价，也可以用于长期的监测评价，但是需要长期全面的生物监测数据做基础。在缺少数据基础和背景信息的区域，以及流域和国家尺度范围开展河流监测评价仍存在一定的缺陷。

2.3.1.2 国内水生态相关标准

水产农业部门主要从保护渔业水产资源的角度开展水生态研究工作，特别是针对经济渔业资料的调查，形成了《渔业生态环境监测规范(SC/T 9102.1-2007)》、《淡水浮游生物调查技术规范(SC/T 9402-2010)》、《淡水渔业资源调查规范河流(SCT 9429-2019)》等一系列水生态调查规范。为落实长江生态保护工作，农业农村部印发了《长江流域水生生物完整性指数评价办法(试行)》(农长渔发[2021]13号)，设置了鱼类状况(种类数、资源量、优势科等)、重要物种状况(重点保护物种、区域代表物种、特有鱼类)、生境状况(水体连通性、岸线硬化度、渔业水质、营养状态等)等16项必选指标，以及浮游生物状况、底栖动物状况、水生高等植物状况等16项参考指标。该评价办法旨在系统评价长江流域水生生物资源及其栖息生境状况，科学评估长江禁渔成效，因此指标体系侧重于鱼类资源状况。

根据农业部门完成的《海南省养殖水域滩涂规划(2018-2030)》等相关报告，

海南岛与沿海海岛潮间带生物种类经调查鉴定为 6 类 100 科 340 种，以软体动物占比最多，有 55 科 190 种，占 55.9%；其次为鱼类 12 科 63 种，占 18.53%（内观赏鱼 9 科 52 种）；其他，如藻类 18 科 54 种，占 15.88%；甲壳类 9 科 20 种占 5.58%；棘皮类 4 科 10 种，占 2.94%；多毛类 2 科 4 种，占 1.18%，总平均生物密度高于全国平均水平。年平均生物量为 2949.56 克 / 平方米，平均栖息密度为 283.98 个 / 平方米。

水利部门开展河湖健康评估工作较早，其认为河湖水生态系统健康是指河湖自然生态系统状况良好，同时具有可持续的社会服务功能。自然生态状况包括河湖的物理、化学和生物三个方面，用完整性来表述其状况；可持续的社会服务功能是指河湖具有可以持续为人类社会提供服务的能力。因此，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（SL793-2020），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，其中规范了河流健康评估的指标、标准与方法。据此，水利部门在海南岛南渡江、万泉河等重点流域均开展了试点工作，在开展河流水生态调查和评价的基础上，构建了生境物理特征、水文水资源状况、水质物化参数、水生生物群落、河湖服务功能等多维度水生态健康评估指标体系，并针对流域河湖健康问题提出对策。

生态环境部发布了《水生态监测技术指南 河流水生生物监测与评价（试行）》（HJ1295—2023）和《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）》（HJ1296—2023）规范河流和湖库的水生态监测中水生生物监测与评价工作，规定了河流（不包括河口）和湖库水生态监测中水生生物监测点位布设与监测频次、监测方法、质量保证和质量控制、评价方法等技术内容。此指南推荐了水生生物监测与评价的适用方法和采样鉴定的技术要求。为本标准的制定提供了纲领性的指导，本标准按照要求构建了海南省本地化的水生态监测与评价的体系，并根据海南省省情将相关评价参数进行筛选和验证。

2.3.3 海南省水生态监测与评价工作基础

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，环境保护部 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），并编制了《流域生态健康评估技术指南》（以下简称“指南”），以指导流域生态健康评估试点工作。该指南规定了流域生态健康评估的一般性原则、内容、方法和技术要求，旨

在从流域尺度进行生态环境现状调查、问题分析和综合评估，全面识别人类活动对流域生态系统的影响范围和程度，为流域生态环境保护和可持续发展提供技术支撑。其中调查内容包括水域生态系统和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）。指南中规范了河流健康的评估指标体系和赋分标准。

海南省生态环境部门在南渡江下游海口-定安段、文澜江流域和文教河流域等开展了试点工作，主要成果如下：

南渡江海口-定安段生态健康评估结果为良好，但也存在一定问题。通过综合分析，诊断出南渡江海口-定安段生态健康保护面临的主要问题包括：流域段河道非法采沙活动猖獗、航运交通频繁，人为干扰活动对于流域水域生境的破坏问题非常严峻，水生生物多样性较差，底栖动物生境破坏较大，流域外来鱼种入侵范围大，数量多，流域点位污染负荷严重，部分城镇居民生活污水直排问题突出，畜禽养殖和种植业等面源污染问题十分严峻；流域森林覆盖率较低，挖沙活动对自然河道植被破坏问题时有发生，局部区域流域水源涵养能力下降，土壤侵蚀问题日趋明显。流域干流水环境质量整体保持稳定，但美舍河、海甸溪、铁炉溪、巡崖河等中小支流水污染程度异常严重。

文澜江流域生态健康评估结果为一般，表明文澜江流域整体生态健康状况存在一定问题，通过综合分析发现主要问题包括：流域源头橡胶、浆纸林、其它经济作物大面积种植，造成生态系统结构单一，流域水土流失问题十分严重，水源涵养能力下降；流域水生生物多样性水平低下，流域下口鲇等外来鱼物种入侵情况严重，人类活动对水生生物的影响日益明显；流域污染负荷严重，城镇生活污水、畜禽养殖和农业种植业等污染问题十分严峻；部分河道水电站和闸坝等水利工程数量众多，造成河道连通性降低，对水生生态系统的影响逐步凸显；流域水资源开发利用强度过大，造成局部河道（调洪）补枯的生态功能下降严重。

文教河流域生态健康评估结果为一般，通过综合分析，诊断出文教河流域生态健康保护面临的主要问题包括：流域污染负荷严重，水产养殖和畜禽养殖等面源污染问题十分严峻；部分区域河道采沙和航运交通过于频繁，人为干扰活动对于流域水域生境的破坏问题日益突出；水生生物多样性较差，流域外来鱼种入侵范围大，数量多；流域水环境质量整体下降严重，流域水污染现状异常严重；流域椰子和槟榔等热带经济作物大面积种植，造成局部区域生态系统结构单一，流

域水源涵养能力下降，流域调洪补枯功能不足。

中国环境监测总站发布了《河流水生态环境质量监测与评价技术指南》、《湖泊水生态环境质量监测与评价技术指南》（总站水字〔2014〕124号、总站水字〔2021〕223号），有所侧重地针对“一河两岸”的调查评价范围，其借鉴吸纳国内外的相关性技术文件，主要为美国开展可涉水体和大河水生态调查的主要技术导则《溪流及浅河快速生物评价规范：着生藻类、大型底栖动物及鱼类》、《可涉水溪流及深水河流快速生物评价规范：着生藻类、大型底栖动物及鱼类》及《河湖健康评估技术导则》内的方法，结合我国在松花江、辽河、淮河、珠江等几大流域水生态监测状况多年适用的反馈，充分考虑目前国家监测能力实际情况，规定了河流水生态环境质量监测和评价中关键技术内容，包括中前期调查、点位布设、监测频次和时间、生境调查、水生生物监测、质量保证和质量控制、河流水生态环境质量评价等，形成一部相对成熟、覆盖全面、指向明确、适用性强、具有总体指导性的河流水生态监测与评价技术指导性指南类标准。监测要素与目前欧盟和美国水生态监测要素保持一致，由生物、物理和化学要素构成，未采纳国内目前健康评估的体系，不涉及社会服务功能。水生生物采用国际、国内通用的典型水生生物类群（底栖动物和着生藻类）。监测方法在目前国内各流域开展生物监测方法的基础上，结合国际通行的采样方式和实验室分析范式，对一些未达成统一的或者不完善的内容进行规范和统一。其中，物理生境的监测涉及多个尺度（从流域区域、河流、河段及采样点直接支持生物生存的小生境），该标准仅采用小尺度小生境监测指标，采用比较通用的高频指标。该标准未纳入鱼类监测内容。指标监测和评估主要采纳《溪流及浅河快速生物评价规范：着生藻类、大型底栖动物及鱼类》《可涉水溪流及深水河流快速生物评价规范：着生藻类、大型底栖动物及鱼类》方法。

2.3.3 其它地方工作基础

根据调研和查阅相关资料，目前与水生态监测与评价相关的国内技术标准主要包括：《流域生态健康评估技术指南》、《河湖健康评估技术导则》、水生态监测技术指南河流水生生物监测与评价（试行）》（HJ 1295-2023）和《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 1296-2023）。

我国水生生物监测发展历程可以划分为4个阶段：20世纪80年代中期~90年代初期为第一次快速发展期；20世纪90年代中期~90年代末期为衰退期；

2000~2010 年为恢复期；2010 年至今为第二次快速发展期。第二次的快速发展期主要依赖生态环境部里生物试点工作的实施及“十一五”至“十四五”国家水专项等课题开展的推动。近年来，我国将水生生物与河流健康挂钩，加大了对流域生态健康监测的重视，重视评价方法在具体研究区域的探索与实践应用。在漓江、辽河、袁河、嘉陵江、珠江、长江等多流域开展了生物群落调查，主要采用生物完整性指数（IBI）、RIVPACS 预测模型和多指标综合评估体系探讨不同方法对我国河湖生态健康监测的适用性。

在 IBI 方法的应用研究中，有学者在东江和辽河流域建立了 F-IBI 和硅藻完整性指数（Diatom Index of Biotic Integrity, D-IBI）并开展了适用性研究，研究成果表明 IBI 方法可以准确测量河流状态，是监测河流状态的有效的评价方法。此外，漓江流域的案例表明 RIVPACS 预测模型也适用于我国河流的评价，但是需要根据我国具体河流类型来选择特定的参数。对于国家范围的评价，目前我国还无法避免预测模型在不同环境中应用的缺陷。部分学者在城市水源地上游河流开展了综合评价的研究，探讨了基于模糊概率法的多指标综合评价方法在河流评价中的应用，为综合评价方法的研究提供了新视角。有学者对河口区域水体进行了评价研究，发现长江河口生态系统目前处在亚健康状态，提出河流的修复需要更多、更长时间的人工干预。虽然目前综合评价方法的案例应用仍处于早期的探索阶段，评价系统的有效性还需要长时间连续监测数据的验证，但初步的评价结果仍可为后期河流生态环境的恢复提供重要依据。

此外，部分省/市也相继发布了本省/市的水生态健康评价地方标准，如辽宁省 2017 年发布《辽宁省河湖（库）健康评价导则》，提出了针对本省河流湖库的评价内容和方法。同年山东省发布《山东省生态河道评价标准》，在水文水资源、生物及环境方面给出了具体的评价方法。2017 年江苏省发布《湖泊水生态监测规范》并于 2019 年发布《生态河湖状况评价规范》，提出了江苏省内河流湖泊的生态监测指标及方法、评价指标及体系。江西省也在 2021 年发布《河湖（水库）健康评价导则》，规定了河湖健康评价的方法和赋分标准。2020 年北京市针对水生生物调查和水生态健康评价发布了《水生生物调查技术规范》和《水生态健康评价技术规范》，分别对多种动植物的监测调查和几种类型的水体健康评价进行规定。天津市发布的《河湖健康评估技术导则》在河湖评价指标、监测方法、评估赋分等方面进行了规定。湖南省发布的《淡水生物调查技术规范》规定了湖南省内水库、江河、湖泊点位布设、浮游植物、浮游动物、底栖动物、着生藻类、

大型水生植物的采样和计数方法。以上地方标准均为各地水利部门基于水生态健康评价目标而提出，均为通过河流健康评估指标加权求和，构建综合评估指数来进行。

2.4 标准研究报告

2.4.1 标准制订的基本原则和技术路线

2.4.1.1 基本原则

开展海南省水生态环境质量评价工作，表明海南流域水生态状况和变化，摸清典型水生态问题，建立可监测可评价的考核体系，为海南省水生态保护修复提供技术支撑和管理服务。

针对性：坚持问题导向、目标导向、结果导向，聚焦海南省水生态存在的问题。

科学性：筛选的指标要在学术上广泛认同，与国际和国内先进理念接轨。

完整性：定量描述人类干扰与生物特性之间的关系，对干扰反应敏感的一组生物指数。

可行性：可监测、可评价、可考核。

以维持水生态系统健康为核心，统筹生境保护与修复、水资源保障和水环境治理，提出监测与评价指标推荐方向。

2.4.1.2 技术路线

本项目建设海南省水生态监测与评价技术体系，规范海南省水生态监测与评价技术要求，基于对海南水生态问题的梳理，进行河流分类，点位的布设，指标的筛选，权重确立，评价方法的确定等工作，适用于海南省水生态监测与评价工作。

本项目组对水生态监测与评价技术进行了可行性研究，结合国内外的文献报道和本单位多年来的经验总结，制定了本项目的工作方法和主要工作内容，具体如下：

(1) 项目调研

主要工作包括：

- 文献调研：现有国家、行业标准，国外相关标准，相关技术文献
- 现状调研：调研现有水生态监测与评价技术现状

(2) 编制技术规范

根据调研结果，确定本标准需要涵盖的技术内容和协议范围，编制海南省水生态监测与评价技术规范。

(3) 示范应用与评估

形成省生态环境厅技术文件《海南省水生态监测与评价方法（试行）》，广泛征求各相关单位意见，修改并印发试行，在万泉河流域开展示范应用，根据示范应用效果进行评估，调整技术规范内容。

(4) 标准文本编写

按照标准化工作要求，逐步生成海南省《水生态监测与评价技术规范》（试行）征求意见稿、送审稿、报批稿。

(5) 本标准技术路线如下：

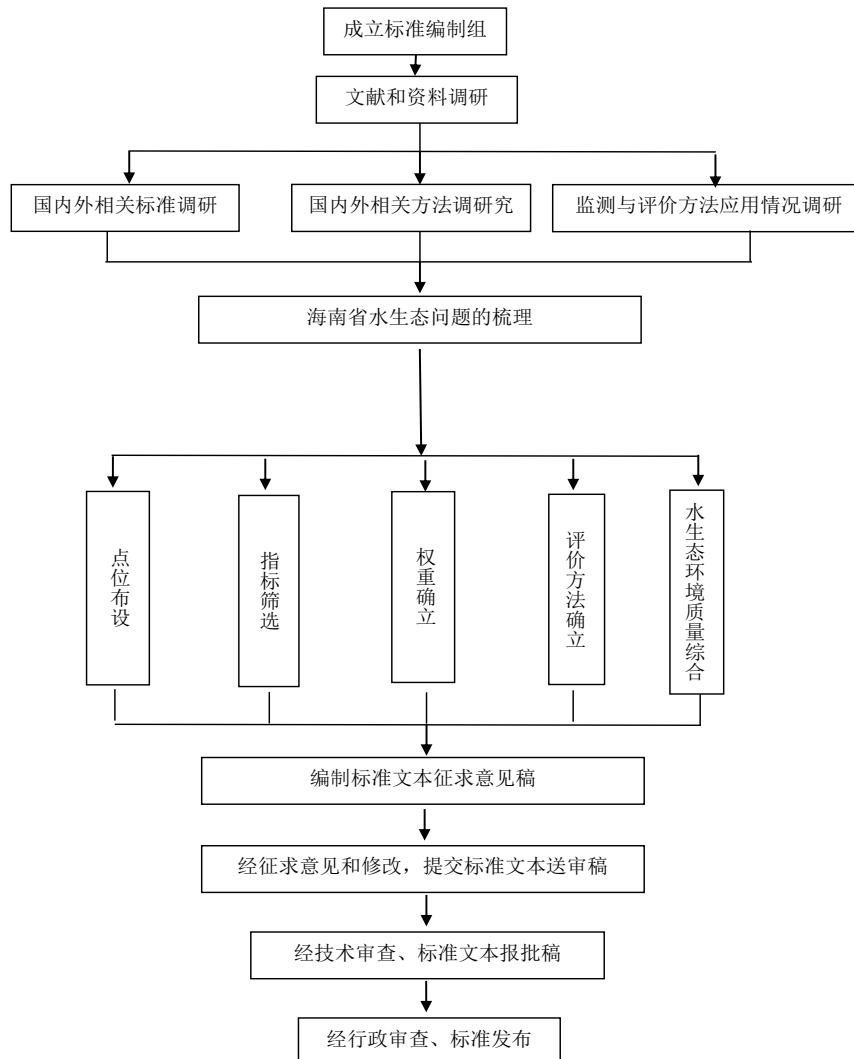


图 1 技术路线

2.4.2 主要条款

本文件的章节由适用范围、规范性引用文件、术语和定义、监测要求、水生态环境质量综合评价方法、附录 A 水生态环境质量评价指标体系及权重、附录 B 水生态环境质量评价指标解释及评分细则,其中“水生态监测评价指标体系构建”和“水生态环境质量评价方法”为本文件的主要技术内容。

2.4.2.1 适用范围

本标准规定了海南省水生态监测指标、监测方法和评价方法等技术要求。

本标准适用于海南省河流、湖泊、水库等地表水体的水生态监测与评价。

2.4.2.2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本标准。

- GB 3838-2002 地表水环境质量标准
- GB 50179-2015 河流流量测验规范
- HJ/T 52-1999 水质河流采样技术指导
- HJ 91.2-2022 地表水环境质量监测技术规范
- HJ 192-2015 生态环境状况评价技术规范
- HJ 493-2009 水质采样样品的保存和管理技术规定
- HJ 494-2009 水质采样技术指导
- HJ 495-2009 水质采样方案设计技术规定
- HJ 710.7-2014 生物多样性观测技术导则内陆水域鱼类
- HJ 710.8-2014 生物多样性观测技术导则淡水底栖大型无脊椎动物
- HJ 1098-2020 水华遥感与地面监测评价技术规范(试行)
- HJ 1215-2021 水质浮游植物的测定滤膜-显微镜计数法
- HJ 1216-2021 水质浮游植物的测定 0.1 ml 计数框-显微镜计数法
- HJ 1295-2023 水生态监测技术指南河流水生生物监测与评价(试行)
- HJ 1296-2023 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)
- SL/Z 712-2021 河湖生态环境需水计算规范
- SL/T 247-2020 水文资料整编规范
- SL/T 793-2020 河湖健康评估技术导则

NB/T35091-2016 水电工程生态流量计算规范

SC/T 9102.3-2007 渔业生态环境监测规范第3部分：淡水

SC/T 9402-2010 淡水浮游生物调查技术规范

卫星环字〔2022〕6号河湖岸线遥感提取与分类技术规定（试行）

2.4.2.3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

水生态环境压力 water ecological environmental pressure: 由于自然界或人类活动对流域水生态造成的环境扰动和其他不利影响，导致环境质量下降或生态失调。

生境 habitat: 生物出现在环境中的空间范围与环境条件总和，又称栖息地。

水生生物 aquatic organism: 水生生物是生活在各类水体中的生物的总称。选择浮游植物、浮游动物、大型底栖无脊椎动物、鱼类、藻类、大型水生植物等类群，表征淡水流域水生生物多样性和生态系统健康状态。

水环境 water environment: 水环境是指自然界中水的形成、分布和转化所处空间的环境。是指围绕人群空间及可直接或间接影响人类生活和发展的水体，其正常功能的各种自然因素和有关的社会因素的总体。

水资源 water resource: 水资源是指可利用或有可能被利用的水源，这个水源应具有足够的数量和合适的质量，并满足某一地方在一段时间内具体利用的需求。

水生态环境质量综合指数 water eco-environment quality index, WEQI: 反映被评价区域水生态环境质量状况的综合评价指数，综合水生生物、水环境、生境、水资源特征的水生态环境质量，由各指标单项赋分后加权求和得到。

2.4.3 标准主要技术指标的制定依据

2.4.3.1 指标参数的选择依据

(1) 梳理海南省地表水分布特点和主要生态问题

海南岛具有岛屿型生态系统的脆弱性；海岛特点鲜明；界限清晰、可开展可度量的参数明确。但由于独立水系，易发生局地污染、外来物种入侵。

一是，海南的地形地貌特点导致河流的梯级结构明显，河流水源涵养能力不强；热带季风气候，雨量充沛，干湿季节明显，台风活动频繁，气候资源多样。

二是，河流流量变异程度较大，削峰补枯改变天然节律；生物多样性下降，

土著种类减少、濒危种类增加、外来物种入侵；水利开发改变河流生境，多年调节水库阻隔连通性；

三是，海南省地表水主要流域干流及主要大江大河水质均保持优良，受污染河流主要为流域面积在 500 平方千米以下的中小河流；“中部优良，沿海局部污染”如珠溪河、文教河、东山河、罗带河、望楼河和滨州河等。三大流域干流水质稳定向好，中下游污染负荷更大；个别支流已有水质下降的苗头，水环境压力大。水库方面总体受氮磷影响增强，如高坡岭水库、珠碧江水库和湖山水库等。

（2）海南省水生态监测与评价指标体系的筛选过程

国内外水生态监测与评价体系文献调研情况：总体来讲，国内外用于水生态健康评估的指标多分为生境、水质理化和水生生物三大类。生境类指标中，使用频次较多的指标有流量、河道形态、土地利用、植被覆盖和沉积物等。水质理化指标中，使用较多的指标有常规理化指标、营养盐、水污染物和叶绿素等。水生生物类指标中，群落类的指标使用量最多，其次为种群类和个体类指标。生物群落类指标中，使用较多的依次为多样性、丰度、生物耐受性、组成、功能和生物量等。按照分类学统计，使用频率较多的依次为大型底栖无脊椎动物、鱼类、藻类、细菌、浮游动物、植物和生物膜等。

从海南省特殊的气候和地理条件来看，岛屿的生态系统脆弱，物理生境有一定程度的受损。自然岸线率低，河岸带生物多样性遭到破坏。分析原因主要为海南岛四周低平，中间高耸，向四周形成以山地、丘陵、台地和平原逐级递减的环状地貌，梯级结构明显。自然岸线受侵占，人类开发利用活动不断增强，盲目建设和开垦，导致天然植被生态环境遭到破坏。大规模的人工经济林结构较为单一且稳定性较差，导致森林群落的垂直结构不均衡，生物多样性遭到破坏。因此推荐生境指标为自然岸线率，且经济林应计算为非自然生态系统。

从水资源的情况来看，海南省河流流量变异程度较大，削峰补枯改变天然节律，水利开发改变河流生境，多年调节水库阻隔连通性。分析原因主要为热带海洋气候，雨量充沛，干湿季节明显，台风活动频繁，气候资源多样。梯级电站、小水坝等过多建设，部分河段生态流量保障不足。因此推荐生态流量保障程度和河流纵向连通性。

从海南省水环境质量的主要问题来看，还存在“中部优良，沿海局部污染”，中下游污染负荷更大；面源污染日显突出，水库富营养化程度有变差趋势。分析原因为气候的原因，受到台风、暴雨等影响较大。岛屿独立性的特点、局部污染、

城乡面源污染日益突出。干流水质稳定向好，个别支流已有水质下降的苗头，水环境压力大。气温高，水库总体受氮磷影响增强。因此推荐指标为水质指数和湖库的综合营养状态指数。

从水生态系统健康的问题来看，海南省水生态系统受损。鱼类多样性下降，种群结构有所退化。底栖动物、浮游动物等关键种群退化，有发生水华的风险。分析原因为水利工程建设导致河流连通性下降。水产养殖和无序的增殖放流带来的鱼类入侵。多重因素导致大型肉食性鱼类数量减少，滤食性鱼类优势度上升，对大型浮游动物带来摄食压力。采砂、水产养殖以及不合理的清淤工程对底栖原生环境造成破坏。推荐的水生生物指标为鱼类、大型底栖无脊椎动物、浮游动物和浮游植物。

表 2 海南省流域水生态问题、成因及考核指标推荐方向

生态问题		成因	推荐指标方向
生态系统脆弱，生境有一定程度的受损	岛屿气候和独特的地形地貌特点生态系统脆弱	海南岛四周低平，中间高耸，向四周形成以山地、丘陵、台地和平原逐级递减的环状地貌，梯级结构明显。	水生生物栖息地：栖息地人为干扰指数（遥感）、栖息地的复杂性（可涉水调查） 河床结构基质构成：底质、流速/深度结合特性、沉积物特征（调查）
	自然岸线率低，河岸带生物多样性遭到破坏。	自然岸线率低，人类开发利用活动不断增强，盲目建设和开垦，导致天然植被生态环境遭到破坏。大规模的人工经济林结构较为单一且稳定性较差，导致森林群落的垂直结构不均衡，生物多样性遭到破坏。	河岸带结构：自然岸线保有率（遥感），河岸的稳定性、多样性（调查）
生态用水难以保障	河流流量变异程度较大，削峰补枯改变天然节律；	热带海洋气候，雨量充沛，干湿季节明显，台风活动频繁，气候资源多样。	水资源保障率
	水利开发改变河流生境，多年调节水库阻隔连通性；	梯级电站、小水坝等过多建设，部分河段生态流量保障不足；	水体连通性，闸坝数量。（河流）
水质胁迫压力大	“中部优良，沿海局部污染”，中下游污染负荷更大；面源污染日显突出。	气候的原因，受到台风、暴雨等影响较大。 岛屿独立性的特点、局部污染城乡面源污染日益突出。干流水质稳定向好，个别支流已有水质下降的苗头，水环境压力大。	水质指数

生态问题		成因	推荐指标方向
	水库富营养化程度有变差趋势	气温高，水库总体受氮磷影响增强。	富营养化指数
水生态系统受损	鱼类多样性下降，种性下降，种群结构有所退化	水利工程建设导致河流连通性下降； 水产养殖和无序的增殖放流带来的鱼类入侵；	鱼类：鱼类的多样性、重要物种
	底栖动物、浮游动物等关键种群退化，有发生水华的风险。	1. 多重因素导致大型肉食性鱼类数量减少，滤食性鱼类优势度上升，对大型浮游动物带来摄食压力； 2. 采砂、水产养殖以及不合理的清淤工程对底栖原生环境造成破坏。	底栖动物（河流） 浮游动物、浮游植物（水库）

2.4.3.2 海南省水生态监测与评价体系

以水生生物为核心，以生境、水资源、水环境为支撑，以这四方面为一级指标构建水生态评价考核指标体系。针对海南省突出的水生态问题，以重要水体（河流和湖库）为评价对象，确定水生态考核指标体系的二级指标与权重结构。

指标层的筛选设计内容：运用的方法是层次分析法，从类型上分为河流和水库 2 种。

评价指标体系分三个层级，目标层（A）为水生态环境质量综合指数，反映水体生态系统环境质量总体状况；一级指标层（B）包括水生生物指标、生境指标、水环境指标、水资源指标四类，反映完整水体生态系统状况，是决定水体水生态环境质量状况的主要因素；二级指标层（C）是在二级准则层下选择若干具体特征要素。

（1）水生生物指标结合海南省水生态生物的历史调查数据和生物多样性特点及存在的相关问题，推荐筛选的鱼类、大型无脊椎底栖动物和浮游生物。

（2）生境指标主要参考长江流域水生态考核指标体系的参数，结合海南的水域岸线的特点和水生态问题推荐指标，经过编制组讨论，采用自然岸线率、河湖（库）岸带植被覆盖度和河流纵向连通性 3 个指标。

（3）水环境指标按照延续性原则，采用目前考核评价的反应水环境质量状况的水质指数和反应水库富营养化程度的综合营养状态指数。

（4）水资源指标通过调查河流水文站的流量，或水库点位的出库水量，并与相应生态流量目标比较，表征河道水量是否满足最基本的生态流量需求。

水生态监测与评价指标体系详见表 3。

表 3 水生态监测与评价指标体系

目标层 (A)	一级指标层 (B)	二级指标层 (C)		
		河流	湖库	
水生态环境 质量综合 指数	水生生物	鱼类保有指数	鱼类保有指数	
		大型底栖无脊椎动物BI生物指数	浮游生物均匀度指数	
	生境	自然岸线率	自然岸线率	
		河岸带植被覆盖度		
		河流纵向连通性	湖(库)岸带植被覆盖度	
	水环境	水质指数	水质指数	
			综合营养状态指数	
	水资源	生态需水量满足程度	生态需水量满足程度	
	合计		7	7

2.4.3.3 监测要求

本标准在监测要素部分包含了监测频次和时间,评价单元及监测点位的设置,采样、监测分析和质量控制和质量保证的相关要求。主要参考生态环境部发布的《水生生态监测技术指南河流水生生物监测与评价(试行)》(HJ 1295-2023)和《水生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 1296-2023)以及水利部《河湖健康评估技术导则》(SL/T 793-2020)相关的技术内容要求。水生生态监测内容包括水生生物、生境、水环境和水资源4个类型的监测调查。

(1) 监测单元布设

按照流域的地形地貌、河流形态、水文状况、水环境质量、水生生物分布等因素的差异,再结合行政区及地表水环境质量监测断面(点位)设置情况,将河流的干流和支流分成若干段,每个河流分段作为一个监测单元,每个湖库可根据实际情况划分为单独的一个监测单元。生境指标以布设的监测单元为最小调查范围。水生生物、水环境及水资源指标在监测单元布设代表性监测断面(点位)。

(2) 水生生物监测

布点与采样:水生生物监测指标包括鱼类、大型底栖无脊椎动物和浮游生物。

各指标的监测断面(点位)布设应综合考虑交通可达性和实施作业安全性,确保实际采样的可行性、可比性、统一性和方便性。

鱼类、大型底栖无脊椎动物、浮游动物和浮游植物等其他水生生物的布点原则和监测采样参照 HJ 1295-2023 和 HJ 1296-2023 要求开展。

监测频次与时间:鱼类调查原则上每年开展1次,在3-5月开展。其他水生

生物指标调查每年开展 2 次，在春季（3-5 月）和秋季（9-11 月）分别开展一次。

监测项目与分析方法：

鱼类:河流和湖库开展鱼类物种组成、数量、优势种等分析鉴定。监测方法按照 HJ 710.7 或 SC/T 9102.3 执行。

大型底栖无脊椎动物：河流开展大型底栖无脊椎动物的群落结构、物种数、优势种、生物量等分析鉴定。监测方法按照 HJ 1295-2023 执行。

浮游生物：湖库开展浮游生物（浮游动物和浮游植物）群落结构、密度、优势种等分析鉴定。监测方法按照 HJ 1296-2023 执行。

（3）生境调查

调查频次与时间：遥感数据分析原则上每年开展 1 次。

调查项目与方法：

自然岸线率：通过遥感技术获取流域范围生态系统类型，以海南省水务厅划定的海南省重要省级河流保护岸线范围或河岸线 1km 范围内自然生态系统类型占总生态系统类型的比例获取河湖（库）岸自然岸线率。

河湖（库）岸带植被覆盖度：基于高分辨率遥感影像，计算归一化植被指数（NDVI），以河湖（库）岸带归一化植被指数来表征植被覆盖度。

河流纵向连通性：通过遥感监测提取流域内闸坝、水电站的空间分布，确定闸坝、水电站数量、类型、位置等，采用阻隔系数法计算单位长度河道所受的完全阻隔系数。

（4）水环境监测

选择 GB 3838 中水环境质量标准基本项目和其他有关的特定项目和分析方法开展监测，按照 HJ/T 52、HJ/T 91.2、HJ 493、HJ 494、HJ 495 中相应要求开展样品采集、保存和运输工作。原则上每年开展 2 次，在春季（3-5 月）和秋季（9-11 月）分别开展一次，并与水生生物和水生境的样地调查监测同步开展。

（5）水资源

生态流量监测方法按照 SL/Z 7121 和 NB/T35091-2016 执行。

（6）质量保证与质量控制

水生生物监测、生境调查、水环境监测样品采集、保存、运输和实验室分析的全过程质量保证和质量控制按照《国家地表水环境质量监测网手工监测（采测分离）现场监测技术导则》《地表水环境质量监测技术规范》（HJ91.2-2022）《环境水质监测质量保证手册（第二版）》《水华遥感与地面监测评价技术规范》

(HJ1098)等相关要求执行。水资源测验质量保证和质量控制参照《河流流量测验规范》(GB 50179)和《水文资料整编规范》(SL/T247)要求执行。

2.4.3.4 水生态环境质量评价方法

(1) 水生态环境质量综合评价方法来源

水生态环境质量综合评价部分是综合四个一级指标的监测评价结果,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。在我国生态环境部印发的《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,综合评价方式更易于操作,更符合当前管理的需求,所以本指南也采用加权赋分基本思路进行综合评价,通过构建水生态环境质量综合评价指数(Water eco-environment quality index, WEQI_{river}),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。

(2) 水生态综合评价方法

利用综合指数法进行水生态环境质量综合评价;通过水环境、水生生物、生境、水资源指标加权求和,构建水生态环境质量综合指数(WEQI),以该指数表示水体水生态环境整体的质量状况,各评价指标权重和指标解释及评分细则分别详见附录 A 和附录 B。水生态环境质量综合指数计算方法如下:

$$WEQI_{(R,L)} = \sum_{i=1}^n (A_i \times W_i) \quad (1)$$

式中, $WEQI_{(R,L)}$ 为水体(河流、湖库)水生态环境质量的综合得分, A_i 为一级指标层(水环境、水生生物、生境、水资源)第 i 个指标的得分, W_i 为一级指标层第 i 个指标的权重, n 为一级指标层的指标个数。

水环境、水生生物、生境、水资源综合评价指数分别由各自的二级指标层加权获得,具体计算方法如下:

$$A_i = \sum_{j=1}^k (X_j \times W_j) \quad (2)$$

式中, X_j 为二级指标层第 j 个指标的得分, W_j 为二级指标层第 j 个指标的权重, k 为二级指标层的指标个数。

根据水生态环境质量综合指数 $WEQI_{(R,L)}$ 分值大小,将水生态环境质量状况等级分为五级,分别为优、良好、中等、较差和很差,见表 5。

表 5 水生态环境质量分级标准

水生态环境质量	优	良好	中等	较差	很差
综合指数 (WEQI)	$100 \geq WEQI > 80$	$80 \geq WEQI > 60$	$60 \geq WEQI > 40$	$40 \geq WEQI > 20$	$20 \geq WEQI \geq 0$
表征颜色	蓝色	绿色	黄色	橙色	红色
RGB色值	0, 204, 255	0, 255, 0	255, 255, 0	255, 155, 0	255, 0, 0

(3) 单一评价单元的评价

按照监测单元为最小评价单元，根据评价单元的二级指标按照综合评价方法经加权求和得到该点位的水生态环境质量结果。如果年内开展多次监测，首先计算单次监测的水生态环境质量评价指数，然后取各次指数的算术平均值作为点位的年均值进行计算评价。

(4) 流域、水体或湖库整体评价

参照《地表水环境质量评价办法》（试行）（2011）22号文件相关要求。河流水生态环境质量评价：评价水体评价单元总数少于5个时，计算评价水体所有评价单元水生态环境质量评价指数的算术平均值进行评价（表5）。评价水体评价单元总数在5个（含5个）以上时，采用评价单元等级占比法，即根据评价河流、流域（水系）中水生态环境质量评价指数各等级的评价单元数占比情况评价其水生态环境质量状况，分级标准见表6。

湖库水生态环境质量评价：按照湖库所有评价单元水生态环境质量评价指数的算术平均值进行评价

表 6 等级占比对应评价等级

等级占比	等级划分	赋分	颜色表征
优的评价单元比例 $\geq 75\%$	优	100	蓝色
优、良好评价单元比例 $\geq 75\%$	良	75	绿色
优、良好及中等评价单元比例 $< 75\%$ ， 且较差、很差评价单元比例 $< 20\%$	中等	50	黄色
较差、很差评价单元比例 $\geq 50\%$ ，且很差评价单元比例 $< 20\%$	较差	25	橙色
很差评价单元比例 $\geq 60\%$	很差	0	红色

(3) 水生态环境质量评价指标体系及推荐权重

水生态环境质量一级指标的权重参考生态环境部长江流域考核指标权重计算的思路，采取专家咨询法确定。二级指标的权重确定根据海南省重点流域水生态安全调查的研究成果的基础上，结合专家咨询的方式确定。河流和湖库的水生态评价指标推荐权重见表 7 和表 8。

表 7 河流水生态监测评价指标体系及推荐权重

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
水生生物	0.3	鱼类保有指数	0.5
		大型底栖无脊椎动物BI生物指数	0.5
生境	0.3	自然岸线率	0.4
		河岸带植被覆盖度	0.4
		河流纵向连通性	0.2
水环境	0.2	水质指数	1
水资源	0.2	生态需水量满足程度	1

表 8 湖库水生态监测评价指标体系及推荐权重

一级指标	一级指标权重	二级指标	二级指标权重
水生生物	0.3	鱼类保有指数	0.5
		浮游生物均匀度指数	0.5
生境	0.2	自然岸线率	0.7
		湖（库）岸带植被覆盖度	0.3
水环境	0.3	综合营养状态指数	0.5
		水质指数	0.5
水资源	0.2	生态需水量满足程度	1

2.4.3.5 主要参数评价依据及验证论述

(1) 水生生物指标

①鱼类

鱼类作为水生态系统的高级消费者，其种类组成和丰度、耐受性、营养结构、繁殖共位群以及鱼类健康状况等都能反映水生态环境状况的好坏，因而被广泛应用于水生态系统健康评估工作。鱼类是水域生态系统结构和功能稳定的调节器，对维持水生态平衡有着不可替代的作用，不仅是河流和湖泊食物链中的重要环节，可以捕食过度繁殖的藻类，还可以通过新陈代谢转化有机物质，防止氧气过饱和等，改善水体环境。同时，较差的水环境也会导致鱼类大量死亡。

根据《河湖健康评估技术导则》SL/T 793-2020 中推荐的方法，选取鱼类保有指数评估现状鱼类物种数与历史参考点鱼类物种数的差异状况，按照公式(1)计算。对于无法获取历史鱼类监测数据的评估区域，可采用专家咨询的方法确定，

调查鱼类物种数不包括外来物种。赋分采用百分制，保有率达到 100% 暨满分 100 分，保有率为 0% 赋分 0 分，按照 5 个等级平均分配。

$$FOEI = \frac{FO}{FE} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

FOEI——鱼类保有指数（%）；

FO——为评估河湖调查获得的鱼类种类数量（剔除外来物种），种；

FE——历史评估河湖的鱼类种类数量，种。

表 9 鱼类保有指数参考赋分标准表

鱼类保有指数	[0.8, 1.0]	[0.6, 0.8)	[0.4, 0.6)	[0.2, 0.4)	[0, 0.2)
赋分	[80, 100]	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

②大型底栖无脊椎动物

大型底栖无脊椎动物是指生命周期中的全部或至少一段时期生活于水体底部的水生无脊椎动物群。为了研究方便，通常将不能通过 425 μ m 孔径筛网的底栖动物称为大型底栖动物。淡水中底栖动物主要包括水生昆虫、软体动物、软甲亚纲、寡毛纲、蛭纲等。底栖动物在水生生态系统中具有极其重要的生态学作用。它们是水生生态系统的—一个重要类群，对水生态系统的健康稳定起到了关键作用。底栖动物在水生生态系统食物链中扮演着承上启下的角色，促进生态系统的能量和营养循环。如果底栖动物种群衰退或者消失，生态系统内的能量处理效率将降低，导致严重的生态失衡。

底栖动物的群落特征及空间分布与诸多环境参数具有密切关系。河床底质、水文条件、理化因子和水生植被状况及气候条件等均在不同程度上影响着底栖动物的群落分布特征。因此，底栖动物可以用作水生态健康的指示物种。

根据《生物多样性观测技术导则淡水底栖大型无脊椎动物（HJ 710.8-2014）》《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）（HJ1296-2023）》要求，河流常用水生生物评价指标有：

生物指数（BI）：利用底栖动物定量监测数据和各分类单元耐污值数据，依据不同底栖动物类群对污染的耐受性或敏感性差异开展评价，适用于浅水湖泊、湖库浅水区。当 BI<3.9 时，评价结果为优秀；当 3.9≤BI<5.4 时，评价结果为良好；当 5.4≤BI<7.0 时，评价结果为中等；当 7.0≤BI<8.5 时，评价结果为中等；当 8.5≤BI 时，评价结果为很差。

生物监测工作组记分（BMWP）：利用底栖动物的定性监测数据，依据不同

底栖动物类群对污染的耐受性或敏感性差异开展评价，适用于浅水湖泊、湖库浅水区。当采样区域为不可涉水大型河流时， $BMWP > 42$ （评价结果为优秀）， $42 \geq BMWP \geq 32$ （评价结果为良好）， $31 \geq BMWP \geq 22$ （评价结果为中等）， $21 \geq BMWP \geq 11$ （评价结果为较差）， $10 \geq BMWP \geq 0$ （评价结果为很差）。当采样区域为可涉水溪流时， $BMWP > 180$ （评价结果为优秀）， $180 \geq BMWP \geq 136$ （评价结果为良好）， $135 \geq BMWP \geq 91$ （评价结果为中等）， $90 \geq BMWP \geq 45$ （评价结果为较差）， $44 \geq BMWP \geq 0$ （评价结果为很差）。

2023 年对海南重点流域的 17 条河流共 45 个点位进行了大型底栖无脊椎动物的监测评价结果如下：

大型底栖无脊椎动物的 BI 指数评价结果显示，评价结果总体为良好，有 4.4% 点位的 BI 生物指数(3.83-3.88)评价为优秀，62.3% 点位的 BI 生物指数(3.96-5.33)评价为良好，33.3% 点位的 BI 生物指数（5.40-6.97）为中等。

大型底栖无脊椎动物的 BMWP 指数评价结果显示，评价结果，有 51.1% 点位的 BMWP 生物指数评价为优秀，有 17.8% 点位的 BMWP 生物指数评价为良好，有 20.0% 点位的 BMWP 生物指数评价为中等，有 6.7% 点位的 BMWP 生物指数评价为较差，有 4.4% 点位的 BMWP 生物指数评价为很差。

从各河流点位水环境状况来看，水质类别为 I~II 类（优）的有 36 个，占比为 80.0%。水质类别为 III 类（良好）的有 8 个，占比为 17.8%。水质类别为 IV 类（轻度污染）的有 1 个，占比为 2.2%。在重点流域 45 个河流点位中，水质优良比例为 97.8%。

根据 BI 生物指数和 BMWP 指数评价结果的优良水体的占比率来看，大型底栖无脊椎动物 BI 生物指数优良的比例为 66.7%，BMWP 指数评价结果优良的比例为 68.9%。从优良比例结果来看，BI 生物指数评价和 BMWP 指数评价的结果差异不大，BI 生物指数和 BMWP 指数的评价与水环境质量评价结果的差异主要体现在各河流点位上。

重点流域各河流点位的 BI 生物指数评价结果显示，45 个河流点位的评价结果为优秀-中等，其中，评价结果为优秀-良好的多为上中游河段，评价结果为中等的点位多为下游入海口。重点流域各河流点位的 BMWP 指数评价结果显示，45 个河流点位的评价结果为优秀-很差，其中，评价结果为较差的点位在南渡江干流的中游段（后黎村）和下游入海口（儒房）以及南渡江支流源头点（鹿寨村），评价结果为很差的点位在万泉河支流定安河中游段（溪仔村）和文教河入海口（坡

柳水闸)。

表 10 大型底栖无脊椎动物水质生物评价结果与水质类别

所属流域	点位名称	BI 生物指数	评价结果	BMWP 指数	评级结果	水质类别
南渡江流域	S1	4.56	良好	161.5	良好	II
南渡江流域	S2	4.33	良好	128.0	中等	II
南渡江流域	S3	4.44	良好	143.5	优秀	II
南渡江流域	S4	5.23	良好	46.0	优秀	II
南渡江流域	S5	5.27	良好	57.5	优秀	II
南渡江流域	S6	5.50	中等	15.5	较差	II
南渡江流域	S7	5.91	中等	24.0	中等	II
南渡江流域	S8	5.26	良好	15.0	较差	II
南渡江流域	S9	4.06	良好	167.0	良好	III
南渡江流域	S10	4.42	良好	113.5	优秀	II
南渡江流域	S11	5.33	良好	67.0	较差	III
南渡江流域	S12	4.87	良好	59.5	优秀	III
南渡江流域	S13	5.28	良好	64.5	优秀	III
昌化江流域	S14	3.83	优秀	186.0	优秀	I
昌化江流域	S15	4.79	良好	209.0	优秀	II
昌化江流域	S16	5.22	良好	87.5	优秀	II
昌化江流域	S17	6.21	中等	43.5	优秀	II
昌化江流域	S18	5.69	中等	34.0	良好	II
昌化江流域	S19	4.85	良好	137.5	优秀	II
昌化江流域	S20	4.63	良好	103.5	优秀	II
昌化江流域	S21	5.54	中等	101.5	优秀	II
昌化江流域	S22	4.16	良好	167.0	良好	II
昌化江流域	S23	3.96	良好	99.0	中等	II
万泉河流域	S24	4.14	良好	242.5	优秀	II
万泉河流域	S25	4.02	良好	173.0	良好	II
万泉河流域	S26	5.72	中等	59.0	优秀	II
万泉河流域	S27	4.76	良好	92.5	优秀	II
万泉河流域	S28	4.50	良好	132.5	中等	I
万泉河流域	S29	3.88	优秀	126.5	中等	II
万泉河流域	S30	4.00	良好	81.5	优秀	II
万泉河流域	S31	5.40	中等	40.5	良好	II
万泉河流域	S32	4.44	良好	246.5	优秀	II
万泉河流域	S33	4.29	良好	183.0	优秀	II
万泉河流域	S34	3.99	良好	170.5	优秀	II
万泉河流域	S35	5.66	中等	6.0	很差	II
万泉河流域	S36	4.96	良好	59.5	优秀	II
其他诸河流域	S37	5.54	中等	27.0	中等	III

所属流域	点位名称	BI 生物指数	评价结果	BMWP 指数	评级结果	水质类别
其他诸河流域	S38	5.65	中等	22.5	中等	III
其他诸河流域	S39	5.94	中等	66.5	优秀	II
其他诸河流域	S40	5.41	中等	22.5	中等	III
其他诸河流域	S41	6.97	中等	41.5	良好	IV
其他诸河流域	S42	4.71	良好	106.5	优秀	II
其他诸河流域	S43	5.25	良好	8.0	很差	II
其他诸河流域	S44	6.22	中等	24.5	中等	II
其他诸河流域	S45	5.63	中等	40.5	良好	III

根据各河流点位的 BI 生物指数、BMWP 指数和水环境质量评价结果对比来看，BI 生物指数的评价结果与水环境质量评价结果符合度更高，更能反映出海南省主要重点流域中河流从源头至入海河口的水生生物群落结构和变化趋势等水生态状况。因此，推荐 BI 生物指数作为河流大型底栖无脊椎动物的评价指标。

大型底栖无脊椎动物BI生物指数：根据《水生态监测技术指南河流水生生物监测与评价（试行）》（HJ 1295-2023）中推荐适用的大型底栖无脊椎动物BI生物指数按照公式（2）计算：

$$BI = \sum_{i=1}^S \frac{n_i}{N} t_i \quad (2)$$

式中：

BI——BI生物指数；

S——物种数；

n_i ——种i的个体数

N——生物总体个数；

t_i ——种i的耐污值。

表 11 大型底栖无脊椎动物 BI 生物指数赋分标准表

大型底栖无脊椎动物 BI 生物指数	BI < 3.9	3.9 ≤ BI < 5.4	5.4 ≤ BI < 7.0	7.0 ≤ BI < 8.5	BI ≥ 8.5
赋分	[80, 100]	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

大型底栖动物耐污值是构建河流生物评价指标的基础。受自然地理区域影响，同一分类单元和耐污值会出现地域上的差异，以及当前可参考的底栖动物耐污值列表未覆盖华南地区特色的底栖动物。因此，通过对海南省 188 个省控地表水环境质量监测断面进行水生态监测评价，结合各监测断面水环境质量的理化指标的监测结果，推荐适用于海南省本地的底栖动物耐污值表（详见附表 2）。

③浮游生物

浮游生物在水质生物评价中起到了重要的作用。它们不仅可以评估水体的营养状态，还可以反映水体的污染状况。其中，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，观察水中浮游植物群落的组成和数量是评估水体养分状况的重要手段。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，当水体受到污染时，浮游动物的种类和数量可能会发生变化。一些对水质要求较高的优势种可能会减少或消失，而一些对富养分和污染物耐受性较强的次优种可能会增多。因此，通过观察浮游动物的种类和数量变化，可以推断出水体的污染程度和类型。

2023 年对海南 41 个水库进行浮游动物和浮游植物的监测评价结果如下：

浮游动物香农-维纳指数评价结果显示，评价结果为优秀有 12 个，占比为 30.0%，良好有 18 个，占比为 45.0%，中等有 10 个，占比为 25.0%。评价结果优良的比例为 75%。

浮游动物均匀度指数评价结果显示，评价结果为优秀有 4 个，占比为 10.0%，良好有 30 个，占比为 75.0%，中等有 6 个，占比为 15.0%。评价结果优良的比例为 85%。

浮游植物香农-维纳指数评价结果显示，评价结果为优秀有 29 个，占比为 70.7%，良好有 12 个，占比为 29.3%。评价结果优良的比例为 100%。

浮游植物均匀度指数评价结果显示，良好有 37 个，占比为 90.2%，中等有 4 个，占比为 9.6%。评价结果优良的比例为 90%以上。

从各水库水环境质量状况来看，水质类别为 I~II 类（优）的有 31 个，占比为 75.6%。水质类别为 III 类（良好）的有 7 个，占比为 17.1%，水质类别为 IV 类（轻度污染）的有 3 个，占比为 7.3%。41 个水库的水质优良比例为 92.7%。

（详见附表 3）

根据香农-维纳指数和均匀度指数评价结果的优良水体的占比率来看，浮游动物香农-维纳指数优良的比例为 75%，均匀度指数评价结果优良的比例为 85%。浮游植物香农-维纳指数评价结果优良的比例为 100%，均匀度指数评价结果优良的比例为 90%以上。而水质优良比例为 92.7%，说明均匀度指数的评价结果与水环境质量评价结果符合度更高，更能反映出海南省水库的水生态系统的健康状况。因此，推荐均匀度指数做为水库浮游生物的评价指标。

浮游生物均匀度指数：根据《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 1296-2023），湖库浮游生物均匀度指数按照公式（3~4）计算：

$$J = \frac{H'}{\log_2 S} \quad (3)$$

式中：

J——均匀度指数；

H——香农-维纳多样性指数；

S——物种数。

$$H = -\sum_{i=1}^{N_S} \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N} \quad (4)$$

式中：

H——香农-维纳多样性指数；

N_S ——物种数；

i——第i个物种；

n_i ——物种i的个体数；

N——生物个体总数。

表 12 浮游生物均匀度指数赋分标准表

浮游生物均匀度指数 J (湖库)	$0.8 < J \leq 1$	$0.5 < J \leq 0.8$	$0.3 < J \leq 0.5$	$0 < J \leq 0.3$	J=0
赋分	[80, 100]	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

(2) 生境指标

①自然岸线率

根据海南省水务厅划定的海南省重要省级河流保护岸线范围或参照《河湖岸线遥感提取与分类技术规定（试行）》划定的岸线范围，按照人工地表、天然林、农田、经济林、草地和裸地等不同土地利用类型，计算河湖（库）岸线范围内自然生态系统面积占总生态系统面积的比例。赋分标准见下表，赋分采用区间内线性插值。

$$\text{自然岸线率} = \frac{\text{岸线范围内自然生态系统面积}}{\text{岸线范围内总生态系统面积}} \quad (5)$$

表 13 自然岸线率指数赋分标准表

自然岸线率%	(60,100]	(40,60]	(20,40]	(10,20]	[0,10]
赋分	(80, 100]	(60, 80]	(40, 60]	(20, 40]	[0, 20]

例如，当自然岸线率为 85%时：

- 1) 自然岸线率 > 60%，赋分区间为 (80,100]；

2) 区间内线性插值赋分为 $80 + (85 - 60) \times (100 - 80) / (100 - 60) = 92.5$ 。

②河湖（库）岸带植被覆盖度

河湖（库）岸带植被覆盖度的计算参考《生态环境状况评价技术规范》（HJ 192-2015）。赋分标准见下表，赋分采用区间内线性插值。

$$\text{河湖（库）岸带植被覆盖度} = \text{NDVI}_{\text{区域均值}} = A_{veg} \times \left(\frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \right) \quad (6)$$

式中：

p_i ——5-9月象元NDVI月最大值的均值；

n ——区域象元数；

A_{veg} ——植被覆盖度指数的归一化系数。

表 14 河湖（库）岸带植被覆盖度指数赋分标准表

河湖（库）岸带植被覆盖度%	(75,100]	(40-75]	(10-40]	(0-10]	0
赋分	(75, 100]	(50, 75]	(25, 50]	(0, 25]	0

例如，当河湖（库）岸带植被覆盖度指数为 95% 时：

1) 植被覆盖度指数 $> 75\%$ ，赋分区间为 (75,100]；

2) 区间内线性插值赋分为 $75 + (95 - 75) \times (100 - 75) / (100 - 75) = 95$ 。

③河流纵向连通性

采用河流纵向联通阻隔系数法，对不同类型的拦河建筑物赋予相应的阻隔系数来表示其对河流的阻隔影响。系数越大表明河流纵向连通性受到的影响越大，系数越小表明河流纵向连通性受到的影响越小。赋分采用区间内线性插值。

河流纵向连通性指数计算公式为：

$$B_j = \frac{\sum_{i=1}^n N_i A_i}{L_j} \times 100 \quad (7)$$

式中：

B_j ——第 j 条河流/段的纵向连通性指数；

n ——拦河建筑物类型的数量；

N_i ——第 i 种拦河建筑物的总数量；

A_i ——第 i 种拦河建筑物的阻隔系数；

L_j ——第 j 条河流/段的长度。

根据海南省河流水电站的特点，参考文献研究成果，计算拦河建筑物的阻隔系数。

其中水电站主要包括引水式水电站、抽水蓄能电站、混合式水电站和闸坝式水电站四种类型，其中抽水蓄能电站、混合式水电站和闸坝式水电站均对河流有着完全阻隔的影响，因此将这三种类型的水电站统称为闸坝式水电站，阻隔系数定为 1.0；由于引水式水电站多为低坝或无坝，较低的坝顶使得一些大型鱼类可以跳跃过河，因此相比另外三种类型的水电站，引水式水电站对河流的阻隔影响相对较小，阻隔系数定为 0.5。水闸由于只会在部分时间段对鱼类洄游造成阻隔影响，因此将水闸的阻隔系数定为 0.25；坝分为拦水坝和滚水坝，拦水坝主要是拦截江河渠道水流以抬高水位或调节流量，滚水坝就是低溢流堰，是一种高度较低的拦水建筑物，由于其坝顶可以溢流，因此将拦水坝的阻隔系数定为 0.5，滚水坝的阻隔系数定为 0.25。

赋分标准参照《河湖健康评估技术导则》（SL/ T793-2020），对其进行量纲统一的标准化处理，采用极差标准化处理方法进行归一化处理后赋分。

$$Z_j = \frac{(B_{max} - B_j)}{(B_{max} - B_{min})} \times 100 \quad (8)$$

式中：

Z_j ——第j条河流/段的纵向连通性指数归一化值；

B_j ——第j条河流/段的纵向连通性指数；

B_{max} ——纵向连通性指数最小值；

B_{min} ——纵向连通性指数最大值。

表 15 河流纵向连通性指数赋分标准表

河流纵向连通性归一化值 (Z_j)	100	$80 \leq Z_i < 100$	$40 \leq Z_i < 60$	$20 \leq Z_i < 40$	$Z_i < 20$
赋分	100	[80, 100)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

(3) 水环境指标

①水质指数及赋分

断面（点位）水质指数计算采用《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）表 1 中除水温、粪大肠菌群和总氮以外的 21 项指标，包括：pH、溶解氧、高锰酸盐指数、生化需氧量、氨氮、石油类、挥发酚、汞、铅、总磷、化学需氧量、铜、锌、氟化物、硒、砷、镉、铬（六价）、氰化物、阴离子表面活性剂和硫化物。

先计算出监测断面各单项指标浓度的算术平均值，计算出单项指标的水质指数，低于检出限的项目按照 1/2 检出限值参加计算各单项指标浓度的算术平均值。

用各单项指标的浓度值除以该指标对应的地表水Ⅲ类标准限值，计算单项指标的水质指数，如式（8）所示：

$$WQI(i) = \frac{C(i)}{C_s(i)} \quad (9)$$

式中：C(i)为第i个水质指标的浓度值；

$C_s(i)$ 为第i个水质指标地表水III类标准限值；

WQI(i)为第i个水质指标的水质指数。

此外：

①溶解氧的计算方法

$$WQI(DO) = \frac{C_s(DO)}{C(DO)} \quad (10)$$

式中：C(DO)为溶解氧的浓度值；

$C_s(DO)$ 为溶解氧的地表水III类标准限值；

WQI(DO)为溶解氧的水质指数。

②pH值的计算方法

如果 $pH \leq 7$ 时，计算公式为：

$$WQI(pH) = \frac{7.0 - pH}{7.0 - pH_{sd}} \quad (11)$$

如果 $pH > 7$ 时，计算公式为：

$$WQI(pH) = \frac{pH - 7.0}{pH_{su} - 7.0} \quad (12)$$

式中： pH_{sd} 为GB3838-2002中pH的下限值；

pH_{su} 为GB3838-2002中pH的上限值；

WQI(pH)为pH的水质指数。

断面（点位）水质赋分：根据《地表水环境质量标准》（GB 3838-2002）表1中除水温和总氮、粪大肠菌群以外的21项作为水质评价指标，采用单因子评价法确定其水质类别，再对各水质类别进行赋分为 $WQG_{类别}$ ，I类赋值100分，II类赋值90分，III类赋值80分，IV类赋值60分，V类赋值40分，劣V类赋值20分。

根据各单项指标的WQI(i)，取其加和为该断面的水质指数，水质类别赋分 $WQG_{类别}$ 减去水质指数为该断面（点位）的水质赋分 $WQG_{断面}$ ，计算如式(12)所示：

$$WQG_{断面} = WQG_{类别} - \sum_{i=1}^n WQI(i) \quad (12)$$

式中： $WQG_{\text{断面}}$ 为断面的水质赋分；

$WQI(i)$ 为第*i*个水质指标的水质指数；

$WQG_{\text{类别}}$ 为断面的水质类别赋分；

*n*为水质指标个数。

根据断面水质指标赋分（ WQG ）分值大小，将水环境质量等级分为五级。

表 16 水环境质量赋分标准表

水质指标赋分 WQG	$100 \geq WQG > 80$	$80 \geq WQG > 60$	$60 \geq WQG > 40$	$40 \geq WQG > 20$	$20 \geq WQG > 0$
赋分	[80, 100)	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

②综合营养状态指数

根据《地表水环境质量评价方法》（环办〔2011〕22号）相关要求，选取叶绿素 a（Chla）、总磷（TP）、总氮（TN）、透明度（SD）和高锰酸盐指数（ COD_{Mn} ）计算湖库的综合营养状态指数（TLI），并根据营养状态指数划分等级按照百分制进行折算，赋分标准见下表。

表 17 综合营养状态评价等级指数赋分标准表

综合营养状态指数（TLI）	$TLI < 30$	$30 \leq TLI \leq 50$	$50 < TLI \leq 60$	$60 < TLI \leq 70$	$TLI > 70$
赋分	[80, 100)	[60, 80)	[40, 60)	[20, 40)	[0, 20)

（4）水资源指标

生态流量依据水务部门确定的生态流量目标及流量数据，按照 SL/Z 712-2021 和 NB/T35091-2016 执行。赋分标准见下表。

表 18 生态需水量满足程度赋分标准表

生态需水量满足程度	赋分
断面全年各月份流量均大于等于 2 倍生态流量	100
断面全年各月份流量均大于等于生态流量，且个别月份流量大于等于 2 倍生态流量	90
断面全年各月份流量均大于等于生态流量	80
断面汛期（5-11 月）各月份流量均大于等于生态流量，但非汛期（11-翌年 4 月）个别月份流量小于生态流量；或断面非汛期（11-翌年 4 月）各月份流量均大于等于生态流量，但汛期（5-11 月）个别月份流量小于生态流量	55
断面汛期（5-11 月）和非汛期（11-翌年 4 月）均有个别月份流量小于生	30

生态需水量满足程度	赋分
态流量	
断面年内各月流量均小于生态流量	0

3. 主要试验、验证及试行结果

2023 年，编制组在万泉河流域开展水生态试点监测工作。按照本标准进行试监测与评价结果如下：

3.1 监测概况

万泉河是海南岛第三大河流，发源于海南省琼中县五指山风门岭，流经琼中、屯昌、定安、文昌、万宁、琼海等市（县），于琼海市博鳌港入南海。流域面积 3693 平方千米，河长 170 千米，落差 800 米，比降 1.12‰。

根据河流的地貌、水深、河宽、底质类型、水流特性，结合水利工程、行政区划等要素并结合地表水环境监测点位的设置情况，将各流域干流或主要支流进一步划分为若干个河段，每个分段作为一个评价单元，万泉河流域共划分 15 个评价单元，其中干流划分 9 个评价单元，主要支流定安河划分 6 个评价单元。共设置 20 个水环境及水生生物监测断面（点位），其中干流设置 12 个监测点位（含牛路岭水库 4 个），主要支流定安河设置 8 个监测点位（含红岭水库 3 个）。生态流量考核断面 3 个。

3.2 试行评价结果

万泉河流域水生态状况总体为优，水生态综合指数 WEQI 的平均值为 81.3。15 个评价单元中，水生态状况为优的占 53.3%，良好占 46.7%。

万泉河干流：水生态环境质量综合评价指数 WEQI 平均值为 80.1。万泉河干流的水生态环境质量综合评价指数 WEQI 的沿程变化呈现波动下降趋势，河流上游河段的水生态状况好于中、下游河段。中游乘坡大桥至牛路岭水库两个评价单元的水生态状况相对较差。

支流(定安河)：定安河的水生态环境质量综合评价指数 WEQI 平均值为 83.2。6 个评价单元中，水生态状况为优的有 5 个占 83.3%，良好的有 1 个，占 16.7%。支流水生态状况略好于万泉河干流，红岭水库的水生态状况相对较差。

从生境指标来看，万泉河流域生境状况总体良好。万泉河干流和定安河的上游河段生境状况好于中、下游河段。干流及定安河的河岸带特征较相似，普遍植被覆盖率高，但受流域内长期农业开垦、经济作物种植等因素影响，自然岸线率较低，水体连通性一般，流域内分布闸坝类型主要以引水式电站为主，对河流的连通性产生一定程度的影响。

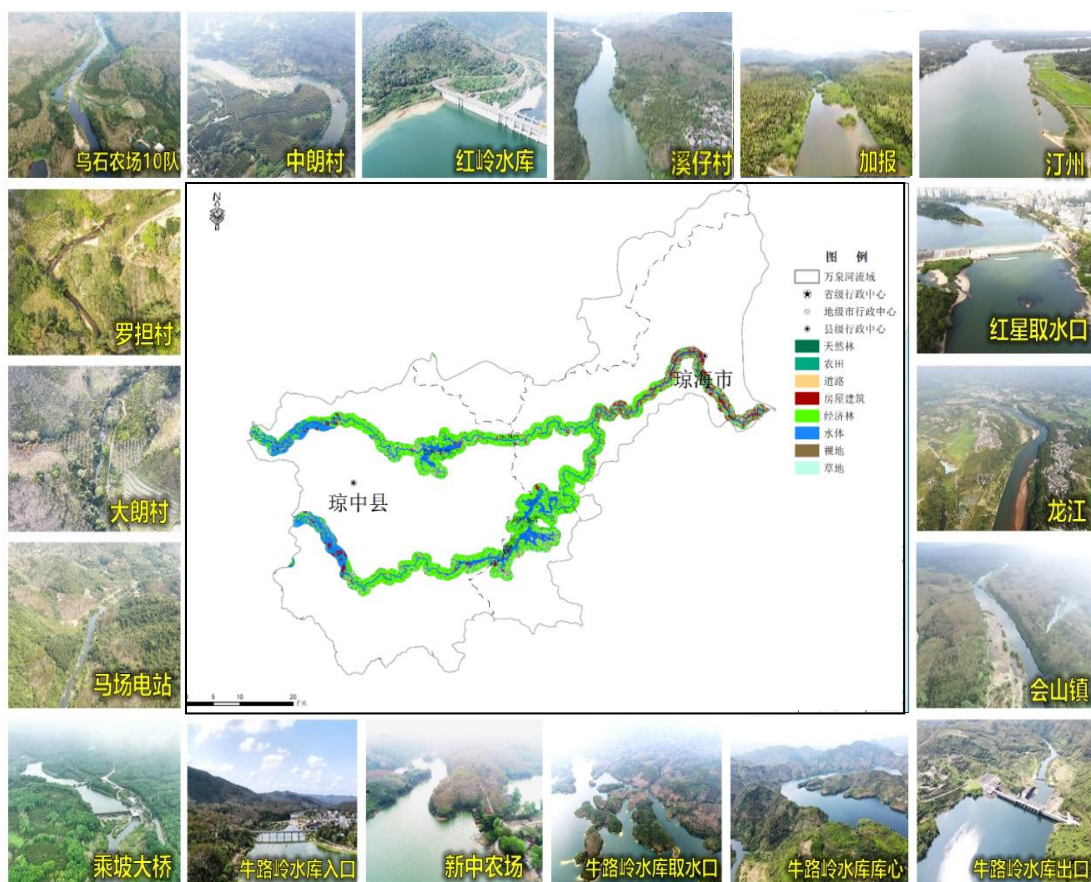


图2 万泉河流域自然岸线土地利用类型及生境现场调查示意图

从水生生物指标来，万泉河流域水生生物总体为良好。水生生物物种较丰富，共监测水生生物 384 个分类单元。万泉河干流的水生生物状况沿程呈现波动趋势，牛路岭水库的上下游河段及入海河口段的水生生物状况相对较差。

鱼类：万泉河流域共采集鱼类样本 5081 尾，隶属于 6 目 22 科 67 种，其中土著鱼类 56 种，外来鱼类 11 种。万泉河流域鱼类优势种有 2 种分别为齐氏非鲫（外来鱼类）和海南似鲚（土著鱼类）。野外采集的淡水鱼类组成与 1986 年历史数据对比，新历史记录种 17 种，其中外来鱼类 10 种，土著鱼类 7 种，缺失种 28 种，均为土著鱼类。各评价单元的土著鱼类保有性指数变化范围为 53.3% ~ 96.0%。

大型底栖无脊椎动物：万泉河流域干流及支流定安河共监测到 96 个分类单元，隶属 3 门 7 纲 87 科。主要优势物种为水生昆虫的纹石蛾科(Hydropsychidae)、四节蜉科 (Baetidae) 和摇蚊亚科 (Chironominae)。流域指示清洁的类群 (EPT 水生昆虫) 出现频率较高，主要分布在河流源头、上游及中游段。

浮游动物：万泉河流域主要水库共监测到 50 种，隶属于 4 个类群，此外还有 2 类浮游幼体。其中，轮虫类、桡足类和枝角类种类数较多。主要优势种为螺形龟甲轮虫 (*Keratellacochlearis*)、针簇多肢轮虫 (*Polyarthratrigla*)、真翅多肢轮虫 (*Polyarthraeuropytera*)、等刺异尾轮虫 (*Trichocercastylata*) 和异尾轮虫属 (*Trichocercasp.*)。

浮游植物：万泉河流域主要水库共监测到浮游植物 171 种，隶属于 7 个类群，以绿藻门为优势类群。主要优势种为泽丝藻 sp. (*Limnothrix* sp.)、拉氏拟柱胞藻 (*Cylind-rospermopsisraciborskii*)、细鞘丝藻 sp. (*Leptolyngbya* sp.)、曲丝藻 sp. (*Achnantheidium* sp.)、微囊藻 sp. (*Microcystis* sp.) 和束丝藻 sp. (*Aphanizomenon* sp.)。

从水环境指标来看，万泉河流域水环境质量状况总体为优。15 个评价单元的 20 个监测断面 (点位) 中，水质类别为 I 类占 5.0%；II 类占 85.0%；III 类占 10.0%。

万泉河干流水质为优，7 个监测断面的水质类别为 I - II 类，支流定安河的水质状况均为优，5 个监测断面的水质类别均为 II 类。牛路岭水库和红岭水库的水质均为优，富营养状态均为中营养。

从水资源指标来看，万泉河流域水量较充沛，能够达到生态流量目标要求。

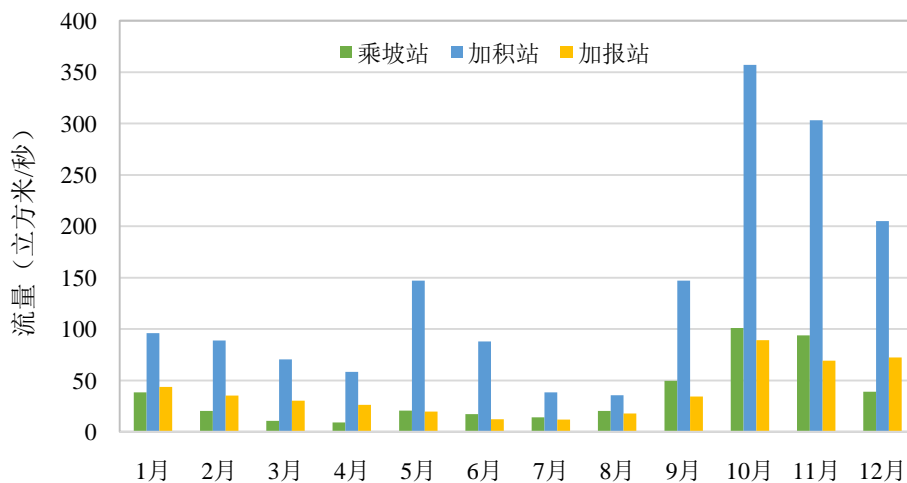


图 3 2023 年万泉河流域水文站月流量统计图

4. 标准中设计专利情况

本标准没有设计专利

5. 采用国际标准或国外先进标准情况

本标准没有采用国际标准

6. 重大分歧意见的处理依据和结果

无。

7. 贯彻标准的要求和措施建议

本标准针对海南省地表水重点流域，规定了水生态监测的监测要素，包括监测频次与时间、点位设置的确定；水环境质量状况调查、生境调查的内容；水生生物中鱼类、大型无脊椎动物和浮游生物的调查内容及方法；水资源调查的内容；质量保证和质量控制等内容。同时规定了河流和湖库的水生态环境质量综合评价中使用的生物评价方法、生境评价方法、水质评价方法、水资源评价方法以及水生态环境质量综合评价方法及技术路线。本标准可支撑现有水生态监测管理，规范了海南省重点流域水生态的监测和评价。

8. 预期效果

按照本标准进行海南省重点流域水生态监测与评价，摸清海南省地表水水生态状况，为“十五五”水环境质量评价向“三水”统筹的水生态综合评价与考核提供重要的数据支撑。

9. 其他予以说明的事项

本标准构建的海南省的水生态监测与评价技术规范为试行版本，监测和指标的评价权重均为推荐值，后期可根据实际监测结果和管理要求进行修订调整。

10. 参考文献

[1]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, D.C. 1999.

[2]USEPA. National Rivers and Streams Assessment 2018/19: Field Operations Manual Wadeable. EPA-841-B-17-003a. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. 2018.

[3]USEPA. National Rivers and Streams Assessment 2018/19: Field Operations Manual Non-Wadeable. EPA-841-B-17-003b. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. 2019.

[4]Renata Ruaro, éderAndréGubiana. A scientometric assessment of 30 years of the index of biotic integrity in aquatic ecosystems-applications and main flaws[J]. Ecological Indicators, 2013, 29: 105-110.

[5]Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid bio-assessment protocols for use in streams and wadeable rivers: pe-riphyton, benthic macroinvertebrates and fish, second edition [M]. Washington DC: EPA 841-B-99-002. U.S. Enviroment Protection Agency; Office of Water, 1999: 1-10.

[6]Simpson JC, Norris R H, Wright J F, et al. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques [M]. Freshwater Biological Association Ambleside, UK, 2000.

[7]Kane, D.D., Gordon, S.I., Munawar, M., et al. The planktonic index of biotic integrity (P-IBI) : an approach for assessing lake ecosystem health [J]. Ecol. Ind. 2009, 9: 1234–1247.

[8]Bernet Catch. How to define, assess and monitor the ecological status of rivers, lakes and costal waters. Regional Implementation of the EU Water Framework Directive in the Baltic Sea Catchment[R]. BERNET CATCH Theme Report, Denmark, 2006.

[9]Jan Breine, Ilse Simoens, Peter Goethals, et al. A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium) [J]. Hydrobiologia, 2004, 522: 133–148.

[10]Brian M. Weigel and Jeffrey J. Dimick. Development, validation, and application of a macroinvertebrate-based Index of Biotic Integrity for nonwadeable rivers of Wisconsin[J]. J. N. Am. Benthol.

[11]Eric G. Hargett, Jeremy R. ZumBerge, and Charles P. Hawkins. Development of a RIVPACS model for wadeable streams of Wyoming [M]. WY: Wyoming Department of Environmental Quality - Water Quality Division, 2005.

[12]USEPA. Concepts and approaches for the bioassessment of non-wadeable streams and rivers (EPA/600/R-06/127) [S]. Washington DC: Office of Research and Development, 2006.

[13] Martin Griffiths, Reinder Torenbeek, Simon Spooner, 韩艳利编著 (黄河流域水资源保护局翻译). 欧洲生态和生物监测方法及黄河实践. 郑州: 黄河水利出版社.

[14]Beck, M.W., Hatch, L.K., Vondracek, B., et al. Development of a macrophyte-based index of biotic integrity for Minnesota lakes [J]. Ecol. Ind. 2010, 10: 968–979.

[15]James R. Karr. Seven Foundations of Biological Monitoring and Assessment [J]. BiologiaAmbientale, 2006, 20 (2) : 7-18.

[16]Felo M J, Reynoldson T B, Ferreira V et al. A predictivemodel for freshwater bioassessment (Mondego River, Portugal) [J]. Hydrobiologia, 2007, 589 (1) : 55-68.

[17]Moya, N., Hughes, R.M., Dom ínguez, E., et al. Macroinvertebrate-based multimetric predictive models for evaluating the human impact on biotic condition of Bolivian streams [J]. Ecol. Ind. 2011, 11: 840–847.

[18]National Rivers and Streams Assessment-Field Operations Manual. EPA-841-B-07-009. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington, DC. 2009.

[19] 王备新,杨莲芳.我国东部底栖无脊椎动物主要分类单元耐污值[J].生态学报,2004 (12) :2768-2775.

[20] 王备新,杨莲芳.我国底栖动物 BI 指数水质生物评价标准的初步建立[J].中国农业科

技导报,2003 (05) :42.

[21] 叶属峰, 刘星, 丁德文. 长江河口海域生态系统健康评价指标体系及其初步评价[J]. 2007, 29 (4): 128-136.

[22] 张远, 郑丙辉, 刘鸿亮, 等. 深圳典型河流生态系统健康指标及评价[J]. 水资源保护, 2006, 22 (5): 13-17, 52.

[23] 冯彦, 何大明, 杨丽萍. 将被广泛接受的指标作为河流健康评价关键指标的可行性分析[J]. 地理研究, 2012, 31 (3): 389-398.

[24] 张汲伟, 蔡琨, 于海燕, 姜永伟, 李旭文, 周胜利, 谢志才, 王业耀, 金小伟, 王备新. 2018. 我国底栖动物水质生物监测指数和水质等级构建. 中国环境监测. 34 (6) :10-18

[25] 夏海芳. 河流生态健康评价常用方法介绍. 化学工程与装备, 2022 (11)

[26] 柴朝晖, 姚仕明. 河流生态研究热点与进展. 人民长江, 2021 (04)

[27] 王晓清; 曾亚英; 吴含含; 熊钢; 张建国; 马晓; 陈丽婷. 湘江干流浮游生物群落结构及水质状况分析. 水生生物学报, 2013 (03)

[28] 唐俊; 向建国; 谷庞华; 谢敏; 舒凤月; 谢松光. 微山湖浮游动物群落结构及水质评价. 水产学杂志, 2014 (02)

[29] 梁建; 路伟亭. 涡河中下游浮游动物群落结构及水生生态评价. 水生态学杂志, 2021 (04)

[30] 崔红; 侯晓蕾. 梁家湾水库浮游动物群落结构及与水理化因子的相关性研究. 水产养殖, 2018 (07)

[31] 展洋; 汪双; 陈吉平; 王昱; 王昱鹏. 基于大型底栖动物完整性指数的黑河中上游水生生态系统健康评价. 中国沙漠, 2023 (02)

[32] 蒋为; 李杰; 谭志卫. 基于浮游植物生物完整性指数的洱海水生态健康评价. 环境科学与技术, 2023 (S1)

[33] 吴利; 李源玲; 陈延松. 淮河干流浮游动物群落结构特征. 湖泊科学, 2015 (05)

[34] 张馨月; 钱宝; 樊云; 彭春兰. 长江干流宜昌段浮游植物群落结构初步研究. 人民长江, 2017 (03)

[35] 金小伟; 赵先富; 渠晓东; 许人骥; 霍守亮; 王业耀; 魏复盛; 吴丰昌. 我国流域水生态监测与评价体系研究进展及发展对策[J]. 湖泊科学, 2023 (03)

[36] 毛智宇; 徐力刚; 赖锡军; 王晓龙; 李云良; 李相虎; 蔡永久; 范宏翔; 吴亚坤; 魏凡凯. 基于综合指标法的鄱阳湖生态系统健康评价. 湖泊科学, 2023 (03)

[37] 曹家乐; 张亚辉; 张瑾; 黄子晏; 杜士林; 孙福红. 国内外水生态健康评价研究进展. 环境工程技术学报, 2022 (05)

[38] 谭娟; 王卿; 阮俊杰; 吴崔哲慧; 王敏. 基于文献计量的水生态健康评价研究动态分析. 环境生态学, 2022 (07)

[39] 章欣仪; 刘伟成; 张川; 李鹏全; 叶深; 郑春芳. 水域生态系统健康评价研究进展. 浙江农业科学, 2022 (09)

[40] 陈桥; 徐东炯; 张翔; 汤云. 太湖流域平原水网区大型底栖动物完整性评价. 2013 年水资源生态保护与水污染控制研讨会论文集, 2013

[41] 张亚; 余宏昌; 毕宝帅; 龚珑; 唐文乔. 基于鱼类生物完整性指数的上海苏州河水生态系统健康评价. 中国环境监测, 2021 (06)

[42] 吴俊燕; 赵永晶; 王洪铸; 崔永德. 基于底栖动物生物完整性的武汉市湖泊生态系统健康评价. 水生态学杂志, 2021 (05)

[43] 邹曦; 杨荣华; 杨志; 郑志伟; 史方; 池仕运; 朱爱民; 邵科; 袁玉洁; 万成炎. 长江流域典型

支流生境健康评价. 水生态学杂志,2021 (05)

[44] 袁立来;王晓梅;杨文波;陈咏霞;丁放;李东浩;王银肖.基于鱼类生物完整性指数的拒马河北京段河流健康评价. 生态毒理学报,2021 (04)

[45] 王霞;郭凯娟;李晓旭;庞婉婷;尤庆敏;王全喜.淀山湖浮游植物生物完整性指数的构建及水生态健康评价. 上海师范大学学报(自然科学版),2021 (01)

[46] 司马文卉;胡小凤;沈占峰;杨映雪;袁芳;高均海.大清河流域水生态安全评价指标体系构建. 给水排水,2021 (01)

[47] 张远;高欣;林佳宁;贾晓波;张楠;成剑波;孟伟.流域水生态安全评估方法. 环境科学研究,2016 (10)

[48] 董婧;卢少奇;伍娟丽;王子康;王恒嘉;徐菲.基于微生物生物完整性指数的北京市城市河道生态系统健康评价. 环境工程技术学报,2022 (05)

[49] 姜永伟;卢雁;问青春;李杨;王业耀;许人骥;金小伟;阴琨.基于大型底栖动物完整性指数的辽河流域水生态健康评价. 环境保护科学,2020 (06)

[50] 王硕;张建云;林育青;陈求稳;陈凯;李卫明.基于大型底栖动物多度量指数的河流多尺度评价. 环境科学研究,2019 (02)

附表 1 标准起草人

序号	姓名	单位	职务	职称	任务分工	联系方式
1	王丽娜	海南省生态环境监测中心		高级工程师	项目负责人	13895778054
2	王立成	海南省环境科学研究院	副院长	研究员	标准主稿审核	18663789311
3	陈表娟	海南省生态环境监测中心	副主任	正高级工程师	体系构建	18976552313
4	金小伟	中国环境监测总站		正高级工程师	体系构建	13581716923
5	王明阳	海南省环境科学研究院		技术员	标准主稿编制	17852163329
6	莫凌	海南省环境科学研究院	所长	研究员	标准主稿编制	13876316285
7	刘彬	海南省生态环境监测中心		高级工程师	体系构建	18078945219
8	冯莹	海南省生态环境监测中心		助理工程师	水生生物鉴定	17801041483
9	王少露	海南省生态环境监测中心		工程师	水生生物鉴定	15248951720
10	杨丰彰	海南省生态环境监测中心		工程师	生境现场调查	
11	马字伟	海南省环境科学研究院		助理研究员	水生态物理生境评估	
12	陈晓璐	海南省环境科学研究院		高级工程师	水资源评估	
13	雷宇	海南省生态环境监测中心		工程师	水生生物鉴定	
14	何书海	海南省生态环境监测中心		正高级工程师	体系构建	
15	谢福武	海南省生态环境监测中心		工程师	水生生物鉴定	
16	郭欣	海南省生态环境监测中心		高级工程师	综合分析	
17	史建康	海南省生态环境监测中心		高级工程师	生境遥感	
18	欧阳珺	海南省生态环境监测中心		工程师	生境遥感	
19	穆晓东	海南省环境科学研究院	副所长	高级工程师	物理生境遥感监测评估	
20	左永令	海南省环境科学研究院		技术员	生境遥感	
21	阴琨	中国环境监测总站		正高级工程师	体系构建	
22	贾世琪	中国环境监测总站		工程师	体系构建	
23	谢丽芸	海南省生态环境监测中心		工程师	生境现场调查	
24	符诗雨	海南省生态环境监测中心		高级工程师	综合分析	

附表 2 海南省重点流域底栖动物耐污值推荐表

分类单元				耐污值
扁形动物门 Platyhelminthes	Planarians	<i>Planaria</i>		3.6
腹足纲 Gastropoda	瓶螺科 Ampullariidae	瓶螺属 <i>Pila</i>		5.0
		<i>Pomacea</i>	福寿螺 <i>Pomacea canaliculata</i>	4.5
	拟沼螺科 Assimineidae	拟沼螺属 <i>Assiminea</i>		6.0
	豆螺科 Bithyniidae			5.8
		<i>Alocinma</i>	长角涵螺 <i>Alocinmalongicornis</i>	6.0
		<i>Bithynia</i>	赤豆螺 <i>Bithynia fuchsiana</i>	5.2
		沼螺 <i>Parafossarulus</i>		5.6
			纹沼螺 <i>Parafossarulus striatulus</i>	6.1
	椎实螺科 Lymnaeidae			6.5
		圆扁螺属 <i>Hippeutis</i>		5.2
		萝卜螺属 <i>Radix</i>		6.3
			椭圆萝卜螺 <i>Radix swinhoei</i>	5.6
	厚唇螺科 Pachychilidae	川蜷属 <i>Brotia</i>	竖川蜷 <i>Brotia herculea</i>	5.0
	膀胱螺科 Physidae			4.4
	扁卷螺科 Planorbidae			6.0
		旋螺属 <i>Gyraulus</i>		5.0
		圆扁螺属 <i>Hippeutis</i>		5.2
	肋蜷科 Plenroseridae	短沟蜷属 <i>Semisulcospira</i>		5.0
			方格短沟蜷 <i>Semisulcospiracancellata</i>	5.0
			放逸短沟蜷 <i>Semisulcospiralibertina</i>	3.1
	盖螺科 Pomatiopsida	拟钉螺属 <i>Tricula</i>		6.0
	狭口螺科 Stenothyridae	<i>Stenothyra</i>	光滑狭口螺	7.1
	跑螺科 Thiaridae	拟黑螺属 <i>Melanoides</i>		6.0
			瘤拟黑螺 <i>Melanoidestuberculata</i>	5.0
		齿蜷属 <i>Sermyla</i>		5.0
			斜肋齿蜷 <i>Sermyla riqueti</i>	5.0
		锥蜷属 <i>Thiara</i>		5.0
			塔蜷 <i>Thiara scabra</i>	5.0
	田螺科 Viviparidae			5.4
		环棱螺属 <i>Bellamyia</i>		5.4
瓣鳃纲 Lamellibranchia	蚶科 Corbiculidae			5.3
		蚶属 <i>Corbicula</i>		5.4
	球蚶科 Sphaeriidae			5.0
	蚌科 Unionidae			5.0
	贻贝科 Mytilidae	<i>Limnoperna</i>	湖沼股蛤 <i>Limnoperna lacustris</i>	5.0

分类单元				耐污值
蛭纲 Hirudinea	舌蛭科 Glossiphonidae			6.2
		蛙蛭属 <i>Batracobdella</i>		6.2
		舌蛭属 <i>Glossiphonia</i>		6.2
		泽蛭属 <i>Helobdella</i>		6.2
	山蛭科 Haemadipsidae	山蛭属 <i>Haemadipsa</i>		6.2
	石蛭科 Herpobdellidae			5.0
		石蛭属 <i>Erpobdella</i>		4.7
	沙蛭科 Salifidae			5.8
		巴蛭属 <i>Barbronia</i>		5.8
寡毛纲 Oligochaeta				8.5
	仙女虫科 Naididae			5.6
		仙女虫属 <i>Nais</i>		5.7
	颤蚓科 Tubificidae			9.3
		<i>Aulodrilus</i>	管水蚓 <i>Aulodriluspluriseta</i>	7.5
		<i>Branchiura</i>	苏氏尾鳃蚓 <i>Branchiurasowerbyi</i>	8.8
		水丝蚓属 <i>Limnodrilus</i>		9.5
			霍甫水丝蚓 <i>Limnodrilushoffmeisteri</i>	9.5
多毛纲 Polychaeta		<i>Nephtys</i>	齿吻沙蚕	5.0
		<i>Tylorrhynchus</i>	疣吻沙蚕 <i>Tylorrhynchusheterochaeta</i>	6.1
等足目 Isopoda	Anthuridae	<i>Cythura</i>	杯尾水虱	6.2
	Asellidae	<i>Asellus</i> (s.str)	栉水虱 <i>Asellus (s.str) aquaticus</i>	6.7
十足目 Decapoda	匙指虾科 Atyidae			5.3
		米虾属 <i>Caridina</i>		5.3
		<i>Cambarus</i>	克氏螯虾 <i>Cambarus clakii</i>	8.5
		新米虾属 <i>Neocaridina</i>		5.3
	螺赢蜚科 Corophiidae			5.5
	钩虾科 Gammaridae	钩虾属 <i>Gammarus</i>		5.5
	膜壳蟹 Hymenosomatoidea	新尖额蟹属 <i>Neorhynchoplax</i>		5.0
	方蟹科 Ocypodidae			4.5
		光滑瓷蟹属 <i>Lissoporcellana</i>		5.0
	长臂虾科 Palaemonidae	沼虾属 <i>Macrobrachium</i>		6.0
		长臂虾属 <i>Palaemon</i>		5.3
	束腰蟹科 Parathelphusidae	束腰蟹属 <i>Somanniathelphusa</i>		4.0
	瓷蟹科 Porcellanidae	股窗蟹属 <i>Scopimera</i>		5.0
	华溪蟹科 Sinopotamidae			3.9

分类单元				耐污值
	弓蟹科 Varunidae	弓蟹属 <i>Varuna</i>		5.0
鞘翅目 Coleoptera	叶甲科 Chrysomelidae			6.5
	象甲科 Curculionidae			6.5
	泥甲科 Dryopidae			2.0
	龙虱科 Dytiscidae			5.2
	长角泥甲科 Elmidae			5.0
		<i>Ancyronyx</i>		5.5
		<i>Gonielous</i>		2.4
		<i>Neocylloepus</i>		2.2
		<i>Ordobreria</i>		1.4
		<i>Oulimnius</i>		2.9
		<i>Stenelmis</i>		3.0
		<i>Zatzetia</i>		1.8
	豉甲科 Gyrinidae			4.9
	沼梭甲科 Haliplidae			8.1
	平唇水龟科 Hydraenidae			5.6
	水龟虫科 Hydrophilidae			5.6
	萤科 Lampyridae			2.6
	小粒龙虱科 Noteridae			6.5
	扁泥甲科 Psephenidae			2.3
		<i>Eubrianax</i>		1.4
		<i>Psephenoides</i>		3.4
		<i>Psephenus</i>		3.0
	毛泥甲科 Ptilodactylidae			1.9
	沼甲科 Scirtidae	<i>Scrites</i>		1.3
双翅目 Diptera				7.0
	伪鹬虻科 Athericidae			9.8
	网蚊科 Blephariceridae			0.3
	滨蝇科 Canacidae			7.0
	蠓科 Ceratopogonidae			3.2
	摇蚊科 Chironomidae			5.8
		摇蚊亚科 <i>Chironominae</i>		5.7
			摇蚊属 <i>Chironomus</i>	10.0
			雕翅摇蚊属 <i>Glyptotendipes</i>	5.7
		直突摇蚊亚科 <i>Orthoclaadiinae</i>		6.3
			环足摇蚊属 <i>Cricotopus</i>	8.3
			真开氏摇蚊属 <i>Eukiefferiella</i>	4.0
			直突摇蚊属 <i>Orthocladus</i>	6.2
		长足摇蚊亚科		3.6

分类单元				耐污值
		<i>Tanypodinae</i>		
			长足摇蚊属 <i>Tanypus</i>	4.6
	蚊科 Culicidae			8.0
	细纹科 Dixidae	<i>Dixella</i>		2.4
	舞蝇科 Empididae			6.0
	水蝇科 Ephydriidae			9.6
	蝇科 Muscidae			10.0
	蚤蝇科 Phoridae			6.5
	毛蠓科 Psychodidae			8.0
	蚋科 Simuliidae			5.0
	水虻科 Stratiomyia			5.3
	蚜蝇科 Syrphidae			10.0
	虻科 Tabanidae			5.5
	大蚊科 Tipulidae			4.9
		朝大蚊属 <i>Antocha</i>		4.0
		<i>Baeoura</i>		2.2
		<i>Dicramomyia</i>		2.3
		<i>Dicranota</i>		4.1
		<i>Hexatoma</i>		2.2
		<i>Nippontipula</i>		2.0
		<i>Pedicia</i>		1.0
		<i>Pilaria</i>		2.5
		<i>Pseudolimnophila</i>		7.3
		<i>Tipula</i>		2.7
蜉蝣目 Ephemeroptera	四节蜉科 Baetidae			3.5
		四节蜉属 <i>Baetis</i>		3.5
		花翅蜉属 <i>Baetiella</i>		2.5
		假二翅蜉属 <i>Pseudocloeon</i>		3.4
	细蜉科 Caenidae			5.8
	小蜉科 Ephemerellidae			3.0
		带肋蜉属 <i>Cincticostella</i>		1.7
		弯握蜉属 <i>Drunella</i>		0.5
		锐利蜉属 <i>Ephacerella</i>		4.8
		小蜉属 <i>Ephemerella</i>		1.4
		锯形蜉属 <i>Serratella</i>		3.8
		天角蜉属 <i>Uracanthella</i>		3.8
	蜉蝣科 Ephemeridae			2.4
		蜉蝣属 <i>Ephemera</i>		2.6

分类单元				耐污值
			绢蜉 <i>Ephemera.serica</i>	3.2
			梧州蜉 <i>Ephemera wuchowensis</i>	5.9
			生米蜉 <i>Ephemera shengmi</i>	2.3
	扁蜉科 Heptageniidae			2.9
		似动蜉属 <i>Cinygmina</i>		4.2
			<i>Cinygminaobliquistrita</i>	2.0
			<i>Cinygminarubromaculata</i>	4.7
		高翔蜉属 <i>Epeorus</i>		0.9
		扁蚰蜉属 <i>Ecdyonurus</i>		5.8
		扁蜉属 <i>Heptagenia</i>		0.9
		假蜉属 <i>Iron</i>		3.6
		尼克斯蜉属 <i>Nixe</i>		1.6
		赞蜉属 <i>Paegniodes</i>		1.0
	等蜉科 Isonychiidae			4.4
	细裳蜉科 Leptophlebiidae			3.0
		宽基蜉属 <i>Choroterpes</i>		3.3
		柔裳蜉属 <i>Habrophlebiodes</i>		1.2
		思罗蜉属 <i>Thraululus</i>		3.8
	新蜉科 Neophemeridae			3.0
	多脉蜉科 Polymitarcyidae			2.5
	河花蜉科 Potamanthidae			4.1
	短丝蜉科 Siphonuridae			1.5
	越南蜉科 Vietnamellidae			2.1
半翅目 Hemiptera	负子蝽科 Belostomatidae			7.0
	膜翅蝽科 Hebridae			7.0
	水蝽科 Mesoveliidae			7.0
	潜蝽科 Naucoridae			7.0
	蝸蝽科 Nepidae			7.0
	带襁科 Taeniopterygidae			1.0
鳞翅目 Lepidoptera	草螟科 Crambidae			3.0
	螟蛾科 Pyralidae			1.8
		<i>Eoophyla</i>		2.3
		<i>Neoschoenobia</i>		2.8
		<i>Parapoynx</i>		0.3
		<i>Potamomusca</i>		0.4
	水蛉科 Sisyridae			4.0
广翅目 Megaloptera	齿蛉科 Corydalidae			3.3
		<i>Neochauliodes</i>		2.2
		<i>Parachauliodes</i>		3.4

分类单元			耐污值
		<i>Protohermes</i>	3.9
蜻蜓目 Odonata	蜓科 Aeshnidae		3.5
	丽螳科 Amphipterygidae		2.5
	色螳科 Calopterygidae		4.9
	隼螳科 Chlorocyphidae		3.2
	螳科 Coenagrionidae		7.3
	大蜓科 Cordulegasteridae		3.5
		<i>Chlorogomphus</i>	2.7
		<i>Cordulegaster</i>	5.0
	伪蜻科 Corduliidae		5.2
	幽螳科 Euphaeidae		1.3
	春蜓科 Gomphidae		4.4
		<i>Lamelligomphus</i>	4.2
	丝螳科 Lestidae		3.1
	Leuctuidae		3.8
	蜻科 Libellulidae		6.5
	大蜻科 Macromiidae		4.2
	扁螳科 Platycnemididae		7.1
襁翅目 Plecoptera	绿襁科 Chloroperlidae		0.2
	卷襁科 Leuctridae		1.1
	叉襁科 Nemouridae		0.5
		<i>Amphinemura</i>	0.2
		<i>Nemoura</i>	2.1
	扁襁科 Peltoperlidae		0.2
	襁科 Perlidae		1.8
		<i>Kamimuria</i>	1.1
		<i>Kiotina</i>	3.4
		<i>Neoperla</i>	3.3
		<i>Paragnetina</i>	1.9
		<i>Togoperla</i>	2.2
	刺襁科 Styloperlidae		1.8
	带襁科 Taeniopterygidae		1.0
毛翅目 Trichoptera	贝石蛾科 Beraeidae		0.1
	短石蛾科 Brachycentridae		0.0
	枝石蛾科 Calamoceratidae		0.1
	畸距石蛾科 Dipseudopsidae		1.7
	径石蛾科 Ecnomidae		3.1
	舌石蛾科 Glossosomatidae		1.9
	瘤石蛾科 Goeridae		3.9
	钩翅石蛾科 Helicopsychidae		1.9
	螯石蛾科 Hydrobiosidae		5.8

分类单元			耐污值
	纹石蛾科 Hydropsychidae		3.5
		<i>Arctopsyche</i>	4.9
		<i>Ceratopsyche</i>	5.0
		<i>Cheumatopsyche</i>	3.0
		<i>Diplectrona</i>	0.8
		<i>Hydropsyche</i>	0.4
		<i>Macronematinae</i>	4.9
	小石蛾科 Hydroptilidae		4.5
	鳞石蛾科 Lepidostomatidae		2.3
	长角石蛾科 Leptoceridae		2.3
		<i>Oecetis</i>	3.2
		<i>Parasetodes</i>	2.9
		<i>Setodes</i>	2.2
	沼石蛾科 Limnephilidae		3.8
	细翅石蛾科 Molanidae		0.3
	齿角石蛾科 Odontoceridae		0.0
	等翅石蛾科 Philopotamidae		3.7
	石蛾科 Phryganeidae		0.4
	拟石蛾科 Phryganopsychidae		2.0
	多距石蛾科 Polycentropodidae		3.5
		<i>Polycentropus</i>	4.8
		<i>Neureclipsis</i>	1.9
	蝶石蛾科 Psychomyiidae		6.1
	原石蛾科 Rhyacophilidae		2.3
	毛石蛾科 Sericostomatidae		0.5
	角石蛾科 Stenopsychidae		3.1
	乌石蛾科 Uenoidae		0.8
	剑石蛾科 Xiphocentronidae		0.0

附表3 主要水库浮游生物评价结果与水质类别

水库代码	水库名称	浮游动物香农- 维纳多样性指 数 (H)	评价结 果	浮游植物香农- 维纳多样性指数 (H)	评价结 果	浮游动物均匀 度指数 (J)	评价结 果	浮游植物均 匀度指数 (J)	评价结 果	水库 水质类别
L1	L1	1.28	中等	3.27	优秀	0.34	中等	0.64	良好	II
L2	半岭水库	1.36	中等	2.91	良好	0.43	中等	0.54	良好	II
L3	赤田水库	2.00	中等	2.85	良好	0.63	良好	0.52	良好	II
L4	春江水库	2.58	良好	3.69	优秀	0.70	良好	0.67	良好	III
L5	大广坝水库	3.51	优秀	3.18	优秀	0.86	优秀	0.58	良好	II
L6	大隆水库	3.04	优秀	3.89	优秀	0.68	良好	0.74	良好	II
L7	东路水库	2.63	良好	3.06	优秀	0.79	良好	0.58	良好	II
L8	福山水库	2.99	良好	4.27	优秀	0.83	优秀	0.78	良好	II
L9	高坡岭水库	1.47	中等	3.65	优秀	0.42	中等	0.68	良好	IV
L10	戈枕水库	2.40	良好	3.75	优秀	0.62	良好	0.74	良好	III
L11	红岭水库	3.46	优秀	3.29	优秀	0.71	良好	0.59	良好	II
L12	湖山水库	2.57	良好	3.49	优秀	0.64	良好	0.62	良好	IV
L13	军田水库	2.50	良好	2.95	良好	0.60	良好	0.53	良好	II
L14	雷公滩水库	2.66	良好	2.39	良好	0.66	良好	0.48	中等	II

水库代码	水库名称	浮游动物香农- 维纳多样性指 数 (H)	评价结 果	浮游植物香农- 维纳多样性指数 (H)	评价结 果	浮游动物均匀 度指数 (J)	评价结 果	浮游植物均 匀度指数 (J)	评价结 果	水库 水质类别
L15	良坡水库	1.73	中等	3.91	优秀	0.47	中等	0.73	良好	II
L16	毛拉洞水库	2.74	良好	2.71	良好	0.79	良好	0.58	良好	II
L17	美容水库	2.73	良好	2.81	良好	0.68	良好	0.54	良好	III
L18	南茶水库	1.27	中等	3.60	优秀	0.64	良好	0.68	良好	II
L19	南方水库	3.06	优秀	2.40	良好	0.78	良好	0.48	中等	II
L20	南丽湖	3.31	优秀	3.75	优秀	0.83	优秀	0.67	良好	II
L21	牛路岭水库	3.60	优秀	4.17	优秀	0.68	良好	0.73	良好	II
L22	沙河水库	1.49	中等	3.70	优秀	0.37	中等	0.66	良好	III
L23	深田水库	2.60	良好	3.76	优秀	0.78	良好	0.70	良好	III
L24	石壁水库	3.01	优秀	3.67	优秀	0.79	良好	0.68	良好	II
L25	石碌水库	3.11	优秀	4.36	优秀	0.71	良好	0.79	良好	II
L26	石门水库	3.19	优秀	3.39	优秀	0.80	良好	0.61	良好	III
L27	水源池水库	2.71	良好	2.63	良好	0.63	良好	0.49	中等	II
L28	松涛水库	4.11	优秀	3.33	优秀	0.90	优秀	0.62	良好	II
L29	太平水库	2.73	良好	2.84	良好	0.79	良好	0.54	良好	II

水库代码	水库名称	浮游动物香农- 维纳多样性指 数 (H)	评价结 果	浮游植物香农- 维纳多样性指数 (H)	评价结 果	浮游动物均匀 度指数 (J)	评价结 果	浮游植物均 匀度指数 (J)	评价结 果	水库 水质类别
L30	陀兴水库	2.66	良好	2.85	良好	0.68	良好	0.52	良好	II
L31	万宁水库	2.93	良好	3.69	优秀	0.77	良好	0.68	良好	II
L32	五指山水库	1.82	中等	2.27	良好	0.65	良好	0.44	中等	II
L33	小妹水库	2.21	良好	3.39	优秀	0.64	良好	0.66	良好	II
L34	小南平水库	1.82	中等	3.08	优秀	0.58	良好	0.58	良好	II
L35	永庄水库	3.25	优秀	3.85	优秀	0.72	良好	0.73	良好	II
L36	跃进水库	2.25	良好	4.02	优秀	0.61	良好	0.76	良好	II
L37	长茅水库	2.56	良好	3.06	优秀	0.66	良好	0.55	良好	II
L38	珠碧江水库	3.18	优秀	3.47	优秀	0.74	良好	0.62	良好	IV
L39	竹包水库	2.32	良好	4.05	优秀	0.59	良好	0.77	良好	I
L40	走装水库	1.64	中等	2.81	良好	0.40	中等	0.54	良好	II
L41	尧龙水库	/	/	/	优秀	/	/	/	良好	III