

生态环境部办公厅关于印发《生态环境损害鉴定评估技术指南地表水与沉积物》的通知

(环办法规函〔2020〕290号)

各省、自治区、直辖市生态环境厅（局），新疆生产建设兵团生态环境局：

根据生态环境损害赔偿制度改革工作需求，我部已经印发《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》《生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水》。

为进一步完善生态环境损害鉴定评估技术体系，规范涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估工作，我部制定了《生态环境损害鉴定评估技术指南 地表水与沉积物》，现予印发。

生态环境部办公厅

2020年6月3日

附件：生态环境损害鉴定评估技术指南 地表水与沉积物

生态环境损害鉴定评估技术指南

地表水与沉积物

Technical guidelines for identification and assessment of
eco-environmental damage
Surface water and sediment

2020年6月

目 录

前言	5
1 适用范围	6
2 规范性引用文件.....	6
3 术语和定义	8
4 工作程序	10
5 鉴定评估准备	12
6 地表水生态环境损害调查确认.....	16
7 地表水生态环境损害因果关系分析.....	28
8 地表水生态环境损害实物量化.....	33
9 地表水生态环境损害恢复.....	37
10 鉴定评估报告编制	44
11 地表水生态环境损害恢复效果评估.....	45
附录 A 鉴定评估报告编制要求.....	48
附录 B 常见地表水生态系统服务功能损害评估方法.....	54
附录 C 常用地表水生态环境修复和恢复技术适用条件与技术性能	66

前 言

为贯彻《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国水污染防治法》，保护地表水生态环境，保障公众健康，规范涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估工作，制定本指南。

本指南规定了涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估的内容、程序、方法和技术要求。

本指南为指导性文件。

本指南为首次发布。

本指南由生态环境部法规与标准司组织制订并解释。

本指南主要起草单位：生态环境部环境规划院、中国科学院生态环境研究中心、中国水利水电科学研究院、中国环境科学研究院。

生态环境损害鉴定评估技术指南 地表水与沉积物

1 适用范围

本指南适用于因污染环境或破坏生态导致的涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估，规定了涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估的内容、工作程序、方法和技术要求。

核与辐射事故导致的涉及地表水与沉积物的生态环境损害鉴定评估工作不适用本指南。

2 规范性引用文件

本指南引用了下列规范性文件中的部分条款或内容。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本指南。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

GB 3838	地表水环境质量标准
GB 5084	农田灌溉水质标准
GB 8978	污水综合排放标准
GB 11607	渔业水质标准
GB 13690	化学品分类和危害性公示通则
GB/T 14551	生物质量 六六六和滴滴涕的测定 气相色谱法
GB/T 21678	渔业污染事故经济损失计算方法
GB/T 21814	工业废水的试验方法 鱼类急性毒性试验

GB/T 22234	基于 GHS 的化学品标签规范
GB 50286	堤防工程设计规范
GB 50707	河道整治设计规范
HJ 19	环境影响评价技术导则 生态影响
HJ/T 91	地表水和污水监测技术规范
HJ/T 164	地下水环境监测技术规范
HJ/T 166	土壤环境监测技术规范
HJ 194	环境空气质量手工监测技术规范
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 采样方案设计技术指导
HJ 589	突发环境事件应急监测技术规范
HJ 630	环境监测质量管理技术导则
HJ 710.4	生物多样性观测技术导则 鸟类
HJ 710.6	生物多样性观测技术导则 两栖动物
HJ 710.7	生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类
HJ 710.8	生物多样性观测技术导则 淡水底栖大型无脊椎动物
HJ 710.12	生物多样性观测技术导则 水生维管植物
HJ 831	淡水水生生物水质基准制定技术指南
HJ 837	人体健康水质基准制定技术指南
HJ 838	湖泊营养物基准制定技术指南
HY/T 078	海洋生物质量监测技术规程

SC/T 9401 水生生物增殖放流技术规程

SC/T 9402 淡水浮游生物调查技术规范

SL 386 水利工程边坡设计规范

DB43/T 432 淡水生物资源调查技术规范

环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）（环办〔2014〕90 号）

突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法（环发〔2014〕118 号）

生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲（环办政法〔2016〕67 号）

生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查（环办政法〔2016〕67 号）

生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水（环办法规〔2018〕46 号）

关于虚拟治理成本法适用情形与计算方法的说明（环办政法函〔2017〕1488 号）

污染死鱼调查方法（淡水）（农渔函〔1996〕62 号）

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本指南。

3.1 地表水 surface water

指存在于陆地表面各种形态的水体，主要包括各种河流（包括运河、渠道）、湖泊和水库，根据地表水管理现状，还包括淡水河口。

3.2 沉积物 sediment

指可以由地表水体携带、并最终沉着在水体底部，形成底泥状的任何物质。通常是黏土、泥沙、有机质及各种矿物的混合物，经过长时间物理、化学、生物等作用及水体传输而沉积于水体底部所形成。

3.3 水功能区 water function zone

指为满足水资源合理开发、利用、节约和保护的需求，根据水源的自然条件和开发利用现状，按照综合规划、水资源保护和社会经济发展要求，依其主导功能划定范围并执行相应水环境质量标准的水域。

3.4 地表水生态环境事件 surface water eco-environmental

incidents

指由于人类活动或各类突发事件引起污染物进入水环境，或由于过度捕捞、非法采砂、违规工程建设、侵占围垦、物种入侵等生态破坏，造成地表水与沉积物环境质量下降、水生态系统服务功能减弱甚至丧失的事件。可根据事件原因的不同分为水环境污染事件和水生态破坏事件。

3.5 地表水生态环境损害 surface water eco-environmental

damage

指因污染环境、破坏生态造成地表水、沉积物等环境要素和水生生物等生物要素的不利改变，及上述要素构成的水生态系统功能退化和服务减少。

3.6 水生生态系统服务功能 water ecosystem services

指人类从地表水生态系统中获得的收益，包括供给服务功能、调节服务功能、文化服务功能以及支持服务功能。

3.7 调查区 survey area

指为确定地表水生态环境损害的类型、范围和程度，需要开展勘查、监测、观测、观察、调查、测量的区域，包括地表水生态环境事件可能的影响区域、损害发生区域和对照区，以及可能造成水环境污染事件的污染源所在区域。

3.8 评估区 assessment area

指经调查发现发生地表水与沉积物环境质量和水生生态系统服务功能退化，需要开展生态环境损害识别、分析与确认的区域。

4 工作程序

参照《生态环境损害鉴定评估技术指南 总纲》，地表水生态环境损害鉴定评估工作程序包括：

4.1 鉴定评估准备

掌握地表水生态环境损害的基本情况和主要特征，确定生态环境损害鉴定评估的内容、范围和方法，编制鉴定评估工作方案。

4.2 损害调查确认

通过开展地表水与沉积物环境状况和水生态系统服务功能调查，必要时开展水文和水文地质调查，确定地表水与沉积物环境质量及水生生态系统服务功能生态环境基线，判断地表水与沉积物生态

环境是否受到损害。

4.3 因果关系分析

分析污染环境或破坏生态行为与地表水和沉积物环境及水生生物、水生态系统、水生态服务功能损害之间是否存在因果关系，可根据需要采用同源性分析、暴露评估等分析方法。

4.4 地表水生态环境损害实物量化

筛选确定地表水生态环境损害的评估指标，对比评估指标现状与基线，确定污染物浓度、生物量、生物多样性、水生态服务功能等地表水生态环境损害的范围和程度，计算地表水生态环境损害实物量。

4.5 地表水生态环境损害恢复或价值量化

基于替代等值原则，选用地表水环境质量或水生态系统关键物种作为恢复目标，编制并比选地表水生态环境恢复方案，计算地表水生态环境损害的价值量。

4.6 地表水生态环境损害鉴定评估报告编制

编制地表水生态环境损害鉴定评估报告（意见）书，同时建立完整的鉴定评估工作档案。

4.7 地表水生态环境恢复效果评估

定期跟踪地表水生态环境的恢复情况，全面评估恢复效果是否达到预期目标；如果未达到预期目标，应进一步采取相应措施，直到达到预期目标。

地表水生态环境损害鉴定评估程序见图 1。

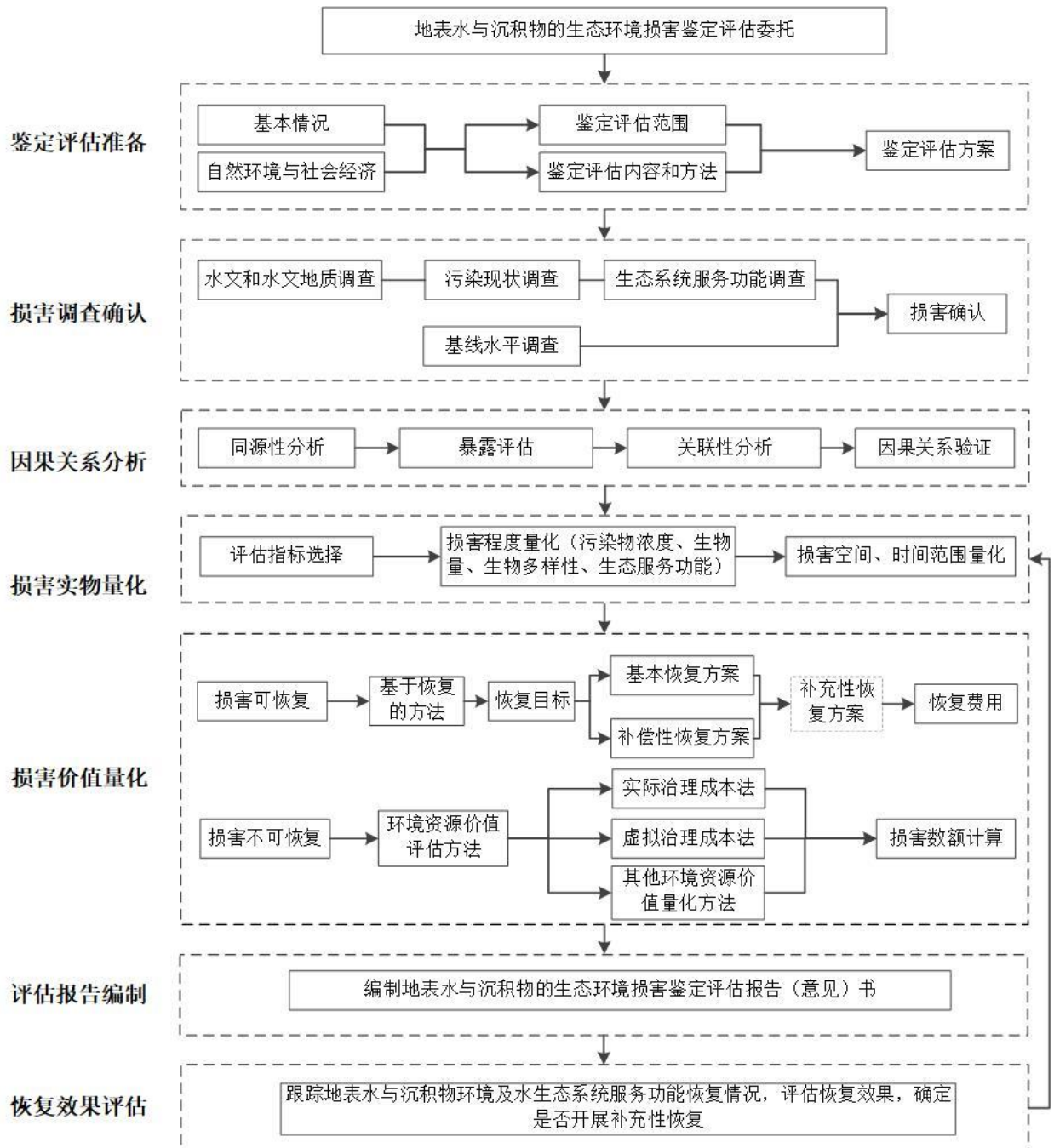


图 1 鉴定评估程序

5 鉴定评估准备

通过资料收集分析、文献查阅、座谈走访、问卷调查、现场踏勘、现场快速检测等方式，掌握地表水生态环境损害的基本情况，

了解评估区的自然环境与社会状况，分析地表水生态环境可能的受损范围，明确地表水生态环境损害鉴定评估工作的主要内容，研究确定每一步评估工作要采用的具体方法，编制鉴定评估工作方案。

5.1 基本情况调查

5.1.1 污染环境或破坏生态行为调查

对于一般水环境污染事件，了解水域及周边区域排污单位、纳污沟渠及农业面源等污染分布情况，分析或查明污染来源；对于突发水环境污染事件，还应查明事件发生的时间、地点，可能产生污染物的类型和性质等资料和情况。

对于水生态破坏事件，了解破坏事件性质、破坏方式、发生时间、地点等基本情况，查明破坏生态行为的开始时间、结束时间、持续时长、频次、破坏面积、破坏量等情况。

5.1.2 污染源调查

根据水环境污染事件的污染特征和水平，针对性了解受污染水域及周边区域排污单位、纳污沟渠及农业面源等污染分布情况，分析或查明污染来源。

涉及排污单位的，应调查其生产工艺、生产原料和辅料、产品和副产品、副产物等使用或产生情况；主要产污节点及特征污染物、污染处理工艺、污染处理设施的运行状况等。

对于排放污水的，应调查污水排放来源，点源应该标明监测点位名称、排放口的属性（总外排口、车间排口）、平面位置、排放方向、排放流量；非点源应该标明排放方式、去向（有组织汇集、无组织漫流等）；调查外排废水中的主要污染物（特别是特征污染

物)、排放规律(稳定连续排放、周期性连续排放、不规律连续排放、有规律间断排放、不规律间断排放等)、排水去向、排放量、污水处理工艺及处理设施运行情况;GB 8978 规定的第一类污染物是否在车间有处理设施或专门另设了污染物处理设施等。

对于产生固体废物的,调查固体废物种类、形态、数量、属性;固体废物产生环节、产生形式,贮存及处置方式(露天堆存、专用危险废物库内堆存、渣棚内堆存);固体废物去向;尾矿库情况;防扬散、防雨、防洪、防渗漏、防流失等污染防治措施。

5.1.3 污染环境或破坏生态基本情况调查

掌握受污染或破坏水生态系统的自然环境(包括水文、水文地质、水环境质量)、生物要素和服务功能受损害的时间、方式、过程和影响范围等信息。

对于水环境污染事件,了解污染物排放方式、时间、频率、去向、数量,特征污染物类别、浓度;污染物进入地表水与沉积物环境生成的次生污染物种类、数量和浓度等信息。

5.1.4 事件应对基本情况调查

了解污染物清理、防止污染扩散等控制措施,实施地表水生态环境治理修复以及水生态系统恢复的相关资料 and 情况,包括实施过程、实施效果、费用等相关信息。

掌握环境质量与水生生物监测工作开展情况及监测数据。

5.2 自然环境与水功能信息收集

调查收集影响水域以及水域所在区域的自然环境信息,具体包括:

- a) 水域历史、现状和规划功能资料；
- b) 水域地形地貌、水文以及所在区域气候气象资料；
- c) 水域及其所在区域的地质和水文地质资料；
- d) 地表水与沉积物历史监测资料；
- e) 影响水域内饮用水源地、生态保护红线、自然保护区、重要湿地、风景名胜区及所在区域内基本农田、居民区等环境敏感区分布信息，以及浮游生物、底栖动物、大型水生植物、鱼类等游泳动物、水禽、哺乳动物及河岸植被等主要生物资源的分布状况。

5.3 社会经济信息收集

收集影响水域所在区域的社会经济信息，具体包括但不限于以下项目：

- a) 经济和主要产业的现状和发展状况；
- b) 地方法规、政策与标准等相关信息；
- c) 人口、交通、基础设施、能源和水资源供给、相关水产品、水资源价格等相关信息。

5.4 工作方案制定

根据所掌握的监测数据、损害情况以及自然和社会经济信息，初步判断地表水生态环境损害可能的受损范围与类型，必要时利用实际监测数据进行污染物与水生生物损害空间分布模拟。

根据事件的基本情况和鉴定评估需求，明确要开展的损害鉴定评估工作内容，设计工作程序，通过调研、专项研究、专家咨询等方式，确定鉴定评估工作的具体方法，编制工作方案。

6 地表水生态环境损害调查确认

按照评估工作方案的要求，参照 HJ/T 91、HJ 493、HJ 494、HJ 495、HJ 589 等相关规范性文件，根据事件特征开展地表水与沉积物布点采样分析，确定地表水与沉积物环境状况，可对水生态系统服务功能、水生生物种类与数量开展调查；必要时收集水文和水文地质资料，掌握流量、流速、河道湖泊地形及地貌、沉积物深度、地表水与地下水连通循环等关键信息。同时，通过历史数据查询、对照区调查、标准比选等方式，确定地表水生态环境基线，通过对比确认地表水生态环境是否受到损害。

6.1 确定调查对象与范围

6.1.1 水生态系统服务功能调查

获取调查区水资源使用历史、现状和规划信息，查明地表水生态环境损害发生前、损害期间、恢复期间评估区的主要生态系统功能与服务类型，如珍稀水生生物栖息地、鱼虾类产卵场、仔稚幼鱼索饵场、鱼虾类越冬场和洄游通道、种质资源保护区、航道运输等支持服务功能，洪水调蓄、侵蚀控制、净化水质等调节服务功能，集中式饮用水源用水、水产养殖用水、农业灌溉用水、工业生产用水、渔业捕捞等供给服务功能，人体非直接接触景观功能用水、一般景观用水、游泳等休闲娱乐等文化服务功能。

6.1.2 不同类型事件的调查重点

根据事件概况、受影响水域及其周边环境的相关信息，确定调查对象与范围。

对于突发水环境污染事件，主要通过现场调查、应急监测、模

型模拟等方法，重点调查研判污染源、污染物性质、可能涉及的环境介质、受水文和水文地质环境以及事件应急处置影响污染物可能的扩散分布范围和二次污染物、污染物在水体中的迁移转化行为、水生态系统服务功能和水生生物受损程度和时空范围。因未能及时开展应急监测，未能获取地表水中污染物浓度的情形，可采用模型进行模拟预测，并利用实际监测数据进行模型校验。

对于累积水环境污染事件，主要通过实际环境监测和生物观测等方法，重点调查污染源、污染物性质、可能涉及的环境介质、污染物的扩散分布范围、污染物在水体、沉积物、生物体中的迁移转化行为及其可能产生的二次污染物、水生态系统服务功能和水生生物受损程度和时空范围。

对于水生态破坏事件，主要通过实际调查、生物观测、模型模拟等方法，重点调查水生态系统服务功能和水生生物受损程度和时空范围、水生态破坏行为可能造成的二次污染及其对水环境与水生态系统服务功能和水生生物的影响。

6.2 确定调查指标

根据地表水生态环境事件的类型与特点，选择相关指标进行调查、监测与评估，各类型地表水生态环境事件主要调查指标见表 6-1。

表 6-1 不同类型地表水生态环境事件主要调查指标

事 件 类 型	环境质量		水生态系统服务																
	污染物浓度		产品供给				支持服务						调节服务				文化服务		
			水产品生产			水资源供给	生物多样性维护				地形地貌	航运支持	洪水调蓄	水质净化	气候调节	土壤保持	休闲娱乐	景观科研	
	地表水	沉积物	生物体污染物残留浓度	种类	数量	水量	生物体污染物残留浓度	种类	致畸致死数量	数量	栖息地面积	破坏量	运量	调蓄量	净化量	蒸散量	保持量	休闲娱乐频次	旅游人次
突发水环境污染事件	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+	+		+					+	+
累积水环境污染事件	++	++	++	++	++	+	++	++	++	++	++							+	+
生态破坏事件	过度捕捞			++	++			++		++								+	+
	非法采砂	+	+		+			+	+	+	+	++		+			+	+	+
	侵占围垦	+	+		+	++		++		++	++	+	+	+	+	+	+	+	+
	违规工程建设	+	+		+	+		++		++	++	+	+	+	+	+		++	++
	物种入侵				++	++			++		++								
圈占养殖	++	+						+		+	++				+		+		

注：+表示建议调查，++表示建议重点调查。

6.2.1 特征污染物的筛选

对于污染源明确的情况，参考行业排放标准，通过现场踏勘、资料收集和人员访谈，根据排污企业的生产工艺、使用原料助剂，以及物质在地表水与沉积物迁移转化中发生物理、化学变化或者与生物相互作用可能产生的二次污染物，综合分析识别特征污染物。

对于污染源不明的情况，通过对采集样品的定性和定量化学分析，识别特征污染物。

特征污染物的筛选应优先选择我国相关水环境质量标准（如 GB 3838、GB 5084 等）、优先控制化学品名录以及有毒有害水污染物名录中规定的物质，结合区域水功能特征和化学物质的理化性质、易腐蚀性、环境持久性、生物累积性、急慢性毒性和致癌性等特点，筛选识别特征污染物。必要时结合相关实验测试，评估其危害，确定是否作为特征污染物。化学物质的危害性分类方法参考 GB 13690 和 GB/T 22234。所依据的化学物质的毒性数据质量需符合 HJ 831 相关筛选原则。

水环境污染事件涉及的常见特征污染物主要包括：

- a) 无机污染物：重金属、酸、碱、无机盐等；
- b) 有机污染物：油类、脂肪烃、卤代烃类、多环芳烃类、苯系物、有机酸、醇类、醛类、酮类、酚类、酯类等；
- c) 富营养化特征指标：总磷、总氮等营养物指标，叶绿素 a、透明度、藻类生物量等生物学指标，微囊藻毒素和异味物质等藻华产生的有毒物质。

可能影响污染物对地表水与沉积物环境及水生生物潜在损害

的监测指标主要包括：

a) 水文指标：温度、流速、水深及其他与流动变化有关的水文指标；

b) 水质指标：pH、硬度、电导率、溶解氧、浊度、COD、氧化还原电位等；

c) 沉积物理化指标：粒度、有机碳、硫化物等。

6.2.2 水文与水文地质指标的确定

对于河流类水体，可以选择事件发生的河流流域水系、流域边界、河流断面形状、河流断面收缩系数、河流断面扩散系数、河床糙率、降雨量、蒸发量、河川径流量、河底比降、河流弯曲率、流速、流量、水温、泥沙含量、本底水质、地表水与地下水补给关系、河床沉积结构等指标。

对于湖库类水体，重点关注湖泊形状、水温、水深、盐度、湖底地形、出入湖（库）流量、湖流的流向和流速、环流的流向、流速、稳定时间，湖（库）所在流域气象数据，如风场、气温、蒸发、降雨、湿度、太阳辐射、地表水与地下水补给关系、湖库底层及侧壁地层岩性、导水裂隙分布等指标。

6.2.3 水生生物指标的确定

根据地表水生态环境事件类型和影响水域实际情况，选择代表性强、操作性好的水生生物指标开展监测。

重金属、有毒有机物、石油类等污染物导致的水环境污染事件的水生生物调查指标包括生物种类、数量或生物量、形态和水生生物组织中特征污染物的残留浓度。酸、碱、氮、磷等污染物和有机质、溶解氧、电导率、温度等指标变化导致的水环境污染

事件的水生生物调查指标包括生物种类、数量、生物量。

浮游生物调查指标包括种类组成、生物量；底栖动物调查指标包括种类组成、数量和生物量；鱼类及其他大型水生生物调查指标包括种类组成、数量和生物量等；水禽调查指标包括种类组成和数量。重点关注国家重点保护野生水生动物和鸟类相关物种。

6.2.4 水生态系统服务功能指标的确定

对水生态系统支持服务功能改变的，调查监测指标主要包括生物种类、数量和生物量、栖息地面积、航运量、水文和水文地质参数，重点关注保护物种、濒危物种；对水生态系统生产服务功能改变的，调查指标主要包括水资源量、水产品产量和种类；导致水生态系统调节服务功能改变的，调查评估指标主要包括洪水调蓄量、降温量、蒸散量、水质净化量、土壤保持量；对水生态系统文化服务功能改变的，调查评估指标主要包括休闲娱乐人次和水平、旅游人次和服务水平。

6.3 水文和水文地质调查

6.3.1 调查目的

水文和水文地质调查的目的在于了解调查区地表水的流速、流量、水下地形地貌、流域范围、水深、水温、气象要素、地层沉积结构、与周边水体水力联系及其他水文参数等信息，获取污染物在环境介质中的扩散条件，判断事件可能的影响范围，掌握污染物在地表水与沉积物中的迁移情况、采砂等活动对水文水力特性及地形地貌的改变情况，为地表水与沉积物损害状况调查分析提供技术参数，为水生态系统服务功能受损情况的量化提供依

据。

6.3.2 调查原则与方法

a) 充分利用现有资料。根据现有资料对调查区水文信息进行初步提取，重点关注已有水文站、监测站建档资料，以初步识别污染物在地表水与沉积物中迁移及损害行为造成地表水与沉积物介质特性改变所需的水文学、水力学、水文地质参数。现有资料不足时，开展进一步调查。

b) 兼顾所在区域和评估水域水文学、水力学、水文地质学参数展开调查。以评估水域为重点调查区，获得评估水域水文学、水力学、水文地质学资料，根据区域资料初步分析判断上述资料的可用性，当区域资料不能满足评估精度要求时，开展相应的水文测验、水力学试验、水文地质试验等工作获取相关参数。

6.4 布点采样

6.4.1 布点采样要求

以掌握地表水生态环境损害发生流域（水系）状况、反映发生区域的污染状况或生态影响的程度和范围为目的，根据水系流向、流量、流速等水文特征、地形特征和污染物性质等，结合相关规范和指南的要求，合理设置监测断面或采样点位。依据水生生态系统服务功能和事件发生地的实际情况，尽可能以最少的监测断面（点）和采样频次获取足够有代表性的信息，同时考虑采样的可行性。

对于突发水环境污染事件，根据实际情况和 HJ 589 的要求进行地表水或沉积物布点采样。初步调查和系统调查可以同步开展，

系统调查采样应不晚于初步调查 24 小时开展。事件刚发生时，采样频次可适当增加，待摸清污染物变化规律后，可以减少采样频次。

对于累积水环境污染事件，根据流向和污染情况进行地表水与沉积物布点采样；应在地表水体和沉积物污染区域布设监测断面或采样点位，并在死水区、回水区、排污口处等疑似污染较重区域布点；对河流的监测断面布点应在损害发生区域及其下游加密布点采样，对湖（库）的监测垂线布设以损害发生地点为中心，按水流波动方向以一定的间隔扇形或圆形布点采样。

对于水生态破坏事件，根据实际情况和相关技术导则进行水体、沉积物和水生生物布点采样。

6.4.2 调查采样准备

开展地表水生态环境事件现场调查，应准备记录工具、定位工具、采样工具、现场便携检测设备、样品保存装置以及安全防护用品。采样前，应现场确定采样点的具体位置和地面标高，并在图中标出。

6.4.3 初步调查采样

初步调查采样的目的是通过现场定点监测和动态监测，进行定性、半定量及定量分析，初步判断污染物类型和浓度、污染范围、水生态系统服务功能变化和水生生物受损情况，为研判污染趋势、进一步优化布点、精确监测奠定基础。

初步调查阶段，对于污染物监测以感官判断现场快速检测为主，实验室分析为辅，可根据实际情况选择现场或实验室分析方法，或两者同时开展。根据污染物的特性及其在不同环境要素中

的迁移转化特点，对于易挥发、易分解、易迁移转化的污染物应采用现场快速检测手段进行监测。按环境要素，监测的紧迫程度通常为地表水>沉积物>生物。进行样品快速检测的同时保存不低于 20%比例的样品，以备实验室复检。

对于污染团明显的难溶性污染物，可以结合遥感图、影像图进行辅助判断。

按污染物的理化性质和结构特征分类，尽可能采用能涵盖多指标同类污染物的高通量快速检测分析方法。

6.4.4 系统调查采样

系统调查阶段的目的是通过开展系统的布点采样和定量分析，确定污染物类型和浓度、污染范围、水生生物受损程度，为损害确认提供依据。

6.4.4.1 污染源布点采样

根据排污单位的现场具体情况，对产生污染物的污染源排污口布点，对接纳污染物的地表水体布点。具体参见 HJ/T 91。

6.4.4.2 地表水布点采样

河流、湖（库）布点采样具体要求参照 HJ/T 91、HJ 495 等相关技术规范执行。

6.4.4.3 沉积物布点采样

沉积物布点采样参照 HJ/T 91 执行。河流、湖（库）沉积物采样布点位置和数量可以参考地表水体布点方案确定，为确定沉积物损害面积或体积，可以根据沉积物模型的需求确定。

6.4.4.4 生物布点采样

在地表水生态环境事件影响范围内，考虑水体面积、水功能

区、水生生物空间和时间分布特点和调查目的，采用空间平衡随机布点法布置采样点或沿生物、生态系统受损害梯度布置采样点。采样时间应考虑生物节律，包括植物的季节变化以及动物的季节变化和日变化。采样方法具体参照 HJ 710.4、HJ 710.6、HJ 710.7、HJ 710.8、HJ 710.12、SC/T 9402、DB43/T 432 以及《污染死鱼调查方法（淡水）》等相关技术规范执行，缺少规定的，可以参考 HY/T 078 等相关技术规范执行。

6.4.4.5 其他

如果地表水对土壤或地下水可能造成污染，需要对土壤和地下水开展必要的布点采样，参见《生态环境损害鉴定评估技术指南 土壤与地下水》、HJ/T 166 等相关技术规范。

如果特征污染物是挥发性有机污染物，需要结合风向、地表水流速对大气环境开展必要的布点采样，一般在下风向进行扇形布点，具体参照 HJ 589。

如果因外来物种入侵导致生物受损，需要对外来物种种类、来源、数量等开展调查，有针对性的布点观测。

如果因矿产开采导致地表水、沉积物及水生生物陷漏，需要对地下水连通情况进行必要的布点调查。

6.5 样品检测分析

水质样品参照 HJ 493 的相关规定进行采集和保存，沉积物样品参照 HJ/T 166 的相关规定进行采集和保存。生物样品参照 GB/T 14551、食品安全国家标准等相关标准技术规范执行。

应采用现有国家或行业标准分析方法进行测定。若无国家或

行业标准分析方法，可采用转化的国外标准分析方法或业界认可的分析方法，但需通过资质认定并经过委托方签字认可。

实验室分析的质量保证和质量控制的具体要求见 HJ/T 91、HJ/T 164、HJ/T 166、HJ 194 和 HJ 630 等相关监测技术规范。

6.6 基线调查与确认

6.6.1 优先使用历史数据作为基线水平

查阅相关历史档案或文献资料，包括针对调查区开展的常规监测、专项调查、学术研究等过程获得的文字报告、监测数据、照片、遥感影像、航拍图片等结果，获取能够表征调查区地表水与沉积物环境质量和生态系统服务功能历史状况的数据。尽量选择考虑年际、年内水文节律等因素的历史同期数据。

6.6.2 以对照区调查数据作为基线水平

当调查区地表水与沉积物环境质量以及水生态系统服务功能历史状况的数据无法获取时，可以选择合适的对照区，以对照区的调查监测数据作为基线水平。通过对与地表水生态环境事件发生前调查区水环境质量、水生态系统服务功能相近状态的上游或其他支流对照水域进行现场调查与监测，评价其地表水生态环境质量状况，获取基线水平数据。对照点位的水功能区、气候条件、自然资源、水文地貌及水生生物区系等性质条件应与评估水域近似。

结合对照区现场条件以及基线水平确定实际需求，根据地表水生态环境质量状况的时空变异，可以选择数个对照点位计算平均值，确定特定评价指标的基线水平。

6.6.3 参考环境质量标准确定基线水平

如果无法获取历史数据和对照区数据，则根据调查区地表水与沉积物的使用功能，查找相应的地表水与沉积物环境质量标准或基准，如 GB 3838、GB 5084 等。如果存在多个适用标准，应该根据评估区所在地区技术、经济水平和环境管理需求选择标准。

6.6.4 专项研究

如果无法获取历史数据和对照区数据，且无可用的水环境质量标准时，应开展专项研究，对于污染物指标，根据水质基准制定技术指南，如 HJ 831、HJ 837、HJ 838，推导确定基线水平。

6.6.5 基线确认的工作程序

6.6.5.1 基线信息调查搜集

基线信息调查搜集主要包括：①针对调查区的专项调查、学术研究以及其他自然地理、生态环境状况等相关历史数据；②针对与调查区的地理位置、气候条件、水文地貌、水功能区类型、水生生物区系等类似的未受影响的对照区，搜集水环境与水生态状况的相关数据；③污染物的水环境基准和标准；④污染物的水生态毒理学效应、调查区生物多样性分布等文献调研和实验获取数据。

6.6.5.2 基线确定方法筛选

当基线确定所需的数据充分时，优先采用历史数据和对照区调查数据，当利用历史数据和对照区调查数据不能确定基线时，推荐采用环境质量标准或通过专项研究推导确定基线。

6.6.5.3 基线水平的确定

按照基线选取的优先顺序，对基线水平的科学性和合理性进

行评价，确定评估区的地表水生态环境基线水平。

6.7 损害确认

当事件导致以下一种或几种后果时，可以确认造成了地表水与沉积物的生态环境损害：

a) 地表水与沉积物中特征污染物的浓度，超过基线水平 20% 以上；

b) 评估区指示性水生生物物种种群数量、密度、结构等，群落组成、生物物种丰富度等，与基线水平相比存在统计学显著差异；

c) 水生生物个体出现死亡、畸变、行为异常、遗传突变、生理功能失常等；

d) 影响水生生物的食用功能；

e) 水生态系统不再具备基线状态下的服务功能，例如支持服务（如生物多样性、岸带稳定性维持等）的降低或丧失、供给服务（如水产品养殖、饮用和灌溉用水供给等）的降低或丧失、调节服务（如涵养水源、水体净化、气候调节等）的降低或丧失、文化服务（如休闲娱乐、景观观赏等）的降低或丧失。

7 地表水生态环境损害因果关系分析

7.1 污染环境行为导致损害的因果关系分析

结合鉴定评估准备以及损害调查确认阶段获取的损害事件特征、评估区环境条件、地表水与沉积物污染状况等信息，采用必要的技术手段对污染源进行解析；开展污染介质、载体调查，提出特征污染物从污染源到受体的暴露评估，并通过暴露路径的合

理性、连续性分析，对暴露路径进行验证，必要时构建迁移和暴露路径的概念模型；基于污染源分析和暴露评估结果，分析污染源与地表水和沉积物环境质量损害、水生生物损害、水生态系统服务功能损害之间是否存在因果关系。

7.1.1 污染物源性分析

在污染源调查结果的基础上，通过人员访谈、现场踏勘、空间影像识别等手段和方法，调查潜在的污染源，必要时开展进一步的水文和水文地质与水生生物调查。根据实际情况选择合适的检测和统计分析方法确定污染源。

污染物源性分析常用的检测和统计分析方法包括：

a) 指纹法

采集潜在污染源和受体端地表水、沉积物和生物样品，分析污染物类型、浓度、组分等情况，采用指纹法进行特征比对，判断受体端和潜在污染源的源性，确定污染源；

b) 同位素技术

对于损害时间较长，且特征污染物为含有铅、镉、锌、汞、氯、碳、氢、氮等元素的重金属或有机物时，可对地表水与沉积物样品进行同位素分析，根据同位素组成和比例等信息，判断受体端和潜在污染源的源性，确定污染源；

c) 多元统计分析法

采集潜在污染源和受体端地表水与沉积物样品，分析污染物类型、浓度等情况，采用相关性分析、主成分分析、聚类分析、因子分析等统计分析方法分析污染物或样品的相关性，判断受体端和潜在污染源的源性，确定污染源。

7.1.2 暴露评估

暴露评估的目的是评估潜在受影响的水体和水生生物暴露于污染源的方式、时间和路径。

7.1.2.1 暴露性质、方式和持续时间

暴露评估需要考虑的因素包括环境暴露的性质或方式；暴露的时间（例如持续与间歇）；与其他环境因素的关系，如溶解氧浓度的日变化、水文水动力因素（影响扩散）；暴露的持续性（例如急性与慢性、连续与间歇、生物多代暴露等），以及影响暴露的局部水文、地球化学或生态因素等。

7.1.2.2 暴露路径分析与确定

基于前期调查获取的信息，对污染物的传输机理和释放机理进行分析，初步构建污染物暴露路径概念模型，识别传输污染物的载体和介质，提出污染源到受体之间可能的暴露路径的假设。

传输的载体和介质包括水体、沉积物和水生生物。

涉及地表水与沉积物的污染物传输与释放机理主要包括：地表水径流与物理迁移扩散，沉积物-水相的扩散交换，悬浮颗粒物和沉积物的物理吸附、解吸，沉积物的沉积、再悬浮和掩埋；污染物在暴露迁移过程中发生的沉淀、溶解、氧化还原、光解、水解等物理化学反应过程。

涉及生物载体的污染物传输与释放机理主要包括：水生生物从地表水与沉积物介质摄取污染物的过程（经鳃吸收、摄食等），生物体内传输代谢和清除过程（鳃转移、组织分布、代谢转化、排泄、生长稀释等），生物受体之间的食物链传递与生物放大作用。

建立暴露路径后，需要对其是否存在进行验证，即识别组成暴露路径的暴露单元，对每一单元内的污染物浓度，污染物的迁移机制和路线以及该单元的暴露范围进行分析，以此确定各个暴露单元是否可以组成完整的暴露路径，将污染源与生物受体连接起来。

7.1.2.3 二次暴露

如果释放的污染物在地表水与沉积物中发生反应并产生副产物，则可能发生二次暴露。污染物可以直接发生二次物理、化学和生物效应，例如，如果污染物释放破坏了具有稳定河床或缓和温度功能的植被，鱼类可能会暴露于过多的沉积物或过高的温度中，即污染物释放产生二次影响。对于具有生物累积性的污染物可以通过食物网的传递发生二次暴露。

7.1.2.4 关联性证明

建立暴露路径，识别污染物与损害结果的关联后，进一步通过文献回顾、实验室实证研究和模型模拟方法对损害关联性进行证明。

首先基于现有文献，对污染物与损害之间的暴露-反应关系进行研究判断，如果文献信息不足，进一步采用实验与模型模拟研究方法，对污染物与损害之间的暴露-反应关系进行验证判断。通过对与评估区暴露条件类似的损害与暴露关系进行实验室研究，来确定实际评估区的暴露-反应关系，该方法可单独使用，也可以与模型模拟方法配合适用。

模型提供了一种模拟污染物与环境 and 受体之间相互作用的方法，可以对污染事件产生的水环境暴露与损害结果进行预测。

针对特征污染物的理化特性以及在水体中的迁移转化过程，可采用水动力模型和水质模型模拟预测水环境污染事件发生后污染物在水体中的暴露迁移过程；河流、湖库、入海河口等不同类型地表水体污染物的常用水动力模型和水质模型包括河流/湖库均匀混合模型（零维模型）、纵向一维模型、河网模型（河流）、垂向一维模型（湖库）、平面二维模型、立面二维模型、三维模型等。

针对特征污染物的理化特性、暴露在不同介质的传输分布以及与生物受体之间的相互作用，可采用环境逸度模型模拟预测污染物在气、水、沉积物、生物体等环境介质中的分布动态与归趋，例如模拟地表水-沉积物暴露归趋的 QWASI 模型、模拟水生生物富集和食物链传递的 FISH 和 FOOD WEB 模型；采用生态模型模拟水生生态系统综合效应，例如 AQUATOX 模型。

7.1.3 因果关系分析

同时满足以下条件，可以确定污染源与地表水、沉积物以及水生生物和水生态系统服务功能损害之间存在因果关系：

- a) 存在明确的污染源；
- b) 地表水与沉积物环境质量下降，水生生物、水生态系统服务功能受到损害；
- c) 排污行为先于损害后果的发生；
- d) 受体端和污染源的污染物存在同源性；
- e) 污染源到受损地表水与沉积物以及水生生物、水生态系统之间存在合理的暴露路径。

7.2 破坏生态行为导致损害的因果关系分析

通过文献查阅、现场调查、专家咨询等方法，分析非法捕捞、湿地围垦、非法采砂等破坏生态行为导致水生生物资源和水生态系统服务功能以及地表水环境质量受到损害的作用机理，建立破坏生态行为导致水生生物和水生态系统服务功能以及地表水环境质量受到损害的因果关系链条。破坏生态行为导致损害的因果关系判定原则具体包括：

- a) 存在明确的破坏生态行为；
- b) 水生生物、水生态系统服务功能受到损害或水环境质量下降；
- c) 破坏生态行为先于损害的发生；
- d) 根据水生态学和水环境学理论，破坏生态行为与水生生物资源、水生态系统服务功能损害或水环境质量下降具有关联性；
- e) 可以排除其他原因对水生生物资源、水生态系统服务功能损害或水环境质量下降的贡献。

8 地表水生态环境损害实物量化

确定地表水与沉积物中特征污染物浓度，以及水生生物量、种群类型、数量和密度、水生态系统服务功能表征指标的现状水平，与基线水平进行比较，分析地表水生态环境以及水生生物资源、水生态系统服务功能受损的范围和程度，计算地表水与沉积物环境质量，以及水生生物资源和水生态系统服务功能损害的实物量。

8.1 损害程度量化

损害程度量化是对地表水与沉积物中特征污染物浓度、水生

生物量、种群类型、数量和密度、水生态系统服务功能超过基线水平的程度进行分析，为地表水生态环境与水生生物资源恢复方案的设计和恢复费用的计算、价值量化提供依据。

8.1.1 污染物浓度

基于地表水与沉积物中特征污染物浓度与基线水平，确定每个评估点位地表水与沉积物的受损害程度，根据以下公式计算：

$$K_i = (T_i - B) / B$$

式中， K_i 为某评估点位地表水与沉积物的受损害程度；

T_i 为某评估点位地表水与沉积物中特征污染物的浓度；

B 为地表水与沉积物中特征污染物的基线水平。

基于地表水、沉积物中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积占评估区面积的比例，确定评估区地表水与沉积物的受损害程度：

$$K = N_o / N$$

式中， K 为超基线率，即评估区地表水、沉积物中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积占评估区面积的比例；

N_o 为评估区地表水、沉积物中特征污染物平均浓度超过基线水平的区域面积；

N 为地表水、沉积物评估区面积。

8.1.2 水生生物量

根据区域水环境条件和对照点水生生物状况，选择具有重要社会经济价值的水生生物和指示生物，参照 GB/T 21678，采用下式估算：

$$Y_i = \sum D_i \times R_i \times A_p$$

式中， Y_i 为生物资源（包括鱼、虾、贝等水产品）损失量，单位为 kg 或尾；

D_i 为近 3 年内同期第 i 种生物资源密度，单位为 kg/km² 或尾/km²；

R_i 为第 i 种生物资源损失率，%；

A_p 受损害面积，单位为 km²。

生物资源损失率按下式计算：

$$R = \frac{\bar{D} - D_p}{\bar{D}} \times 100\% - E$$

式中， R 为生物资源损失率，%；

\bar{D} 为近 3 年内同期水生生物资源密度，单位为 kg/km² 或尾/km²；

D_p 为损害后水生生物资源密度，单位为 kg/km² 或尾/km²；

E 为回避逃逸率，%，取值参考 GB/T 21678。

8.1.3 水生生物多样性

从重点保护物种减少量、生物多样性变化量两方面进行评价。

a) 重点保护物种减少量 (ΔS)

$$\Delta S = NB - NP$$

式中， NB 和 NP 分别是基线水平和损害影响范围下的重点保护物种数。

b) 生物多样性变化

$$\Delta BD_i = BD_{i0} - BD_i$$

式中， ΔBD_i 、 BD_{i0} 和 BD_i 分别是第*i*类生物多样性指数（如鱼类、浮游动物、大型底栖动物、两栖动物等）变化量、基线水平和损害发生后的生物多样性指数。

生物多样性指数可以采用香农-威纳指数：

$$H = -\sum (P_i)(\ln P_i)$$

式中， H 为群落物种多样性指数；

P_i 为第*i*种物种的个体数占总个体数的比例；如总个体数为 N ，第*i*种个体数为 n_i ，则 $P_i=n_i/N$ 。

8.1.4 水生态系统服务功能

如果涉及除水产品或生物多样性支持以外的水生态系统服务功能受损，如支持功能（地形地貌破坏量）、产品供给服务（水资源供给量、砂石资源破坏量）、调节服务（水源涵养量、蒸散量、污染物净化量、土壤保持量）、文化服务（休闲娱乐水平、旅游人次）等受到严重影响，常见地表水生态系统服务功能量化方法参阅资料性附录B。可根据水生态系统服务功能的类型特点和评估水域实际情况，选择适合的评估指标，确定水生态系统服务功能的受损害程度或损害量。

$$K=(B-S)/B$$

式中， K 为水生态系统服务功能的受损害程度；

B 为水生态系统服务功能指标的基线水平；

S 为损害发生后水生态系统服务功能指标的水平。

$$K' =B' - S'$$

式中， K' 为水生态系统服务功能的受损量；

B' 为损害发生前水生态系统服务功能量；

S' 为损害发生后水生态系统服务功能量。

8.2 损害范围量化

根据各采样点位地表水与沉积物、水生生物、水生态系统损害确认和损害程度量化的结果，分析地表水与沉积物环境质量、水生生物、水生态系统服务功能等不同类型损害的空间范围。对于涉及污染物泄漏、污水排放、废物倾倒等污染地表水的突发水环境污染事件中，缺少实际调查监测数据的生态环境损害，可以通过收集污染排放数据、水动力学参数、水文地质参数、水生态效应参数，构建水动力学、水质模拟、水生态效应概念模型，模拟污染物在地表水与沉积物中的迁移扩散情况，不同位置的污染物浓度及其随时间的变化，确定损害空间范围。

根据污染物的生物毒性、生物富集性、生物致畸性等特性以及水环境治理方案、水生态恢复方案，判断生物资源类生态环境损害的时间范围。

涉及产品供给服务、水源涵养等调节服务、航运交通和栖息地等支持功能、休闲旅游等文化服务功能的，分析地表水环境治理方案、水生态恢复方案实施对产品供给、水源涵养、航运交通、生物栖息地、休闲舒适度、旅游人次等生态系统服务功能的影响的持续时间。

9 地表水生态环境损害恢复

损害情况发生后，如果地表水与沉积物中的污染物浓度在两周内恢复至基线水平，水生生物种类、形态和数量以及水生态系统服务功能未观测到明显改变，采用实际治理成本法统计处置费

用。

如果地表水与沉积物中的污染物浓度不能在两周内恢复至基线水平，或者能观测或监测到水生生物种类、形态、质量和数量以及水生生态系统服务功能明显改变，应判断受损的地表水生态环境是否能够通过实施恢复措施进行恢复，如果可以，制定基本恢复方案，基于等值分析方法，计算期间损害，制定补偿性恢复方案；如果制定的恢复方案未能将地表水生态环境完全恢复至基线水平并补偿期间损害，制定补充性恢复方案。

如果受损地表水生态环境不能通过实施恢复措施进行恢复或完全恢复到基线水平，或不能通过补偿性恢复措施补偿期间损害，基于等值分析原则，采用环境资源价值评估方法对未予恢复的地表水生态环境损害进行计算。

9.1 恢复方案的制定

9.1.1 恢复目标确定

基本恢复的目标是将受损的地表水生态环境恢复至基线水平。如果由于现场条件或技术可达性等限制原因，地表水生态环境不能完全恢复至基线水平，根据水功能规划，结合实际情况，确定基本恢复目标。基本恢复目标低于基线水平的，根据 9.2 推荐的环境资源价值量化方法计算相应的损失。

补偿性恢复的目标是补偿受损地表水生态环境恢复至基线水平期间的损害。

如果由于现场条件或技术可达性等限制原因，地表水生态环境基本恢复方案实施后未达到基本恢复目标或补偿性恢复方案未

达到补偿期间损害的目标，则应开展补充性恢复或者采用环境资源价值量化方法计算相应的损失。

对于水生态系统受到影响的事件，如果水生生物数量、结构遭到损害，选用具有代表性的水生生物相关指标表征水生态系统损害；如果没有水生生物受到损害，选择水资源供给量、航运量、休闲旅游人次等水生态系统服务功能作为恢复目标。

9.1.2 恢复技术筛选

地表水与沉积物损害的恢复技术包括地表水治理技术、沉积物修复技术、水生生物恢复技术、水生态系统服务功能修复与恢复技术。在掌握不同恢复技术的原理、适用条件、费用、成熟度、可靠性、恢复时间、二次污染和破坏、技术功能、恢复的可持续性等因素的基础上，参照类似案例经验，结合地表水与沉积物污染特征、水生生物和水生态系统服务功能的损害程度、范围和特征，从主要技术指标、经济指标、环境指标等方面对各项恢复技术进行全面分析比较，确定备选技术；或采用专家评分的方法，通过设置评价指标体系和权重，对不同恢复技术进行评分，确定备选技术。提出一种或多种备选恢复技术，通过实验室小试、现场中试、应用案例分析等方式对备选恢复技术进行可行性评估。基于恢复技术比选和可行性评估结果，选择和确定恢复技术。

常用地表水生态环境修复和恢复技术适用条件与技术性能参阅附录 C。

9.1.3 恢复方案确定

根据确定的恢复技术，可以选择一种或多种恢复技术进行组合，制定备选的综合恢复方案。综合恢复方案可能同时涉及基本

恢复方案、补偿性恢复方案和补充性恢复方案，可能的情况包括：

a) 仅制定基本恢复方案，不需要制定补偿性和补充性恢复方案：损害持续时间短于或等于一年，现有恢复技术可以使受损的地表水生态环境在一年内恢复到基线水平，经济成本可接受，不存在期间损害。

b) 需要分别制定基本恢复方案和补偿性恢复方案：损害持续时间长于一年，有可行的恢复方案使受损的地表水生态环境在一年以上较长时间内恢复到基线水平，实施成本与恢复后取得的收益相比合理，存在期间损害。

补偿性恢复方案包括恢复具有与评估水域类似水生生物资源或服务功能水平的异位恢复，使受损水域具有更多资源或更高服务功能水平的原位恢复，达到类似资源或服务功能水平的替代性恢复，如受污染沉积物经风险评估无需修复，可以异位修复另外一条工程量相同的被污染河流沉积物，或通过原位修建孵化场培育较基线种群数量更多的水生生物，或通过修建公共污水处理设施替代受污染的地表水自然恢复损失等资源对等或服务对等、因地制宜的水环境、水生生物或水生态恢复方案。制定补偿性恢复方案时应采用损害程度和范围等实物量指标，如污染物浓度、生物资源数量、河流或湖库的长度或面积、河岸损害程度或体积。

c) 需要分别制定基本恢复方案、补偿性恢复方案和补充性恢复方案：有可行的恢复方案使受损的地表水生态环境在一年以上较长时间内恢复到基线水平，实施成本与恢复后取得的收益相比合理，存在期间损害，需要制定补偿性恢复方案；基本恢复和补偿性恢复方案实施后未达到既定恢复目标的，需要进一步制定补

充性恢复方案，使受损的地表水生态环境实现既定的基本恢复和补偿性恢复目标。

d) 现有恢复技术无法使受损的地表水生态环境恢复到基线水平，或只能恢复部分受损的地表水生态环境，通过环境资源价值评估方法对受损地表水生态环境以及相应的期间损害进行价值量化，见 9.2。

由于基本恢复方案和补偿性恢复方案的实施时间与成本相互影响，应考虑损害的程度与范围、不同恢复技术和方案的难易程度、恢复时间和成本等因素，对综合恢复方案进行比选。参阅《环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）》附录 B。

综合恢复方案的筛选应统筹考虑地表水与沉积物环境质量、水生生物资源以及其他水生态系统服务功能的恢复，并结合不同方案的成熟度、可靠性、二次污染、社会效益和经济效益等因素确定，参阅《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》附录表 C-8。综合分析和比选不同备选恢复方案的优缺点，确定最佳恢复方案。

9.1.4 恢复费用计算

需要对恢复费用进行计算时，根据地表水与沉积物生态环境基本恢复、补偿性恢复和补充性恢复方案，按照下列优先级顺序选用计算方法，计算恢复方案实施所需要的费用。

a) 实际费用统计法

实际费用统计法适用于污染清理、控制、修复和恢复措施已经完成或正在进行的情况。收集实际发生的费用信息，参照《生态环境损害鉴定评估技术指南 损害调查》附录表 C-7，并对实际

发生费用的合理性进行审核后，将统计得到的实际发生费用作为恢复费用。

b) 费用明细法

费用明细法适用于工程方案比较明确，各项具体工程措施及其规模比较具体，所需要的设施、材料、设备等比较确切，各要素的成本比较明确的情况。费用明细法应列出具体的工程措施、各项措施的规模，明确需要建设的设施以及需要用到的材料和设备的数量、规格和能耗等内容，根据各种设施、材料、设备、能耗的单价，列出工程费用明细。具体包括投资费、运行维护费、技术服务费、固定费用。投资费包括场地准备、设施安装、材料购置、设备租用等费用；运行维护费包括检查维护、监测、药剂等易耗品购置、系统运行水电消耗和其他能耗、污泥和废物处理处置等费用；技术服务费包括项目管理、调查取样和测试、质量控制、试验模拟、专项研究、方案设计、报告编制等费用；固定费用包括设备更新、设备撤场、健康安全防护等费用。

c) 承包商报价法

承包商报价法适用于工程方案比较明确，各项具体工程措施及其规模比较具体，所需要的设施、材料、设备等比较确切，但各要素的成本不确定的情况。承包商报价法应选择 3 家或 3 家以上符合要求的承包商，由承包商根据恢复目标和恢复方案提出报价，对报价进行综合比较，确定合理的恢复费用。

d) 指南或手册参考法

指南或手册参考法适用于已经筛选确定恢复技术，但具体工程方案不明确的情况。基于所确定的恢复技术，参照相关指南或

手册，确定技术的单价，根据待治理的地表水生态环境恢复量，计算恢复费用。

e) 案例比对法

案例比对法适用于恢复技术和工程方案不明确的情况。调研与项目规模、污染特征、生态环境条件相类似且时间较为接近的案例，基于类似案例的恢复费用，计算本项目可能的恢复费用。

9.2 环境资源价值量化方法

9.2.1 实际治理成本法

对于污染清理、控制、修复和恢复措施已经完成或正在进行的情况，比如，通过应急处置措施得到有效处置、没有产生二次污染影响的突发水环境污染事件，应该采用实际治理成本法计算生态环境损害，参照 9.1.4。

9.2.2 虚拟治理成本法

对于向水体排放污染物的事实存在，但由于生态环境损害观测或应急监测不及时等原因导致损害事实不明确或生态环境已自然恢复，或者不能通过恢复工程完全恢复的生态环境损害，或者实施恢复工程的成本远远大于其收益的情形，采用虚拟治理成本法计算生态环境损害。具体参照《环境损害鉴定评估推荐方法（第 II 版）》《关于虚拟治理成本法适用情形与计算方法的说明》和《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》。

9.2.3 其他环境资源价值量化方法

对于地表水生态环境无法自然或通过工程恢复至基线水平，没有可行的补偿性恢复方案补偿期间损害，或没有可用的补充性

恢复方案将未完全恢复的地表水生态环境恢复至基线水平或补偿期间损害时，需要根据评估区的生态系统服务功能，采用直接市场价值法、揭示偏好法、效益转移法、陈述偏好法等方法，对不能恢复或不能完全恢复的生态系统服务功能及其期间损害进行价值量化。

对于以水产品生产为主要服务功能的水域，建议采用市场价值法计算水产品生产服务损失；对于以水资源供给为主要服务功能的水域，建议采用水资源影子价格法计算水资源功能损失；对于以生物多样性和自然人文遗产维护为主要服务功能的水域，建议采用恢复费用法计算支持功能损失，当恢复方案不可行时，建议采用支付意愿法、物种保育法计算；对于砂石开采影响地形地貌和岸带稳定的情形，建议采用市场价值法计算砂石资源直接经济损失，采用恢复费用（实际工程）法计算岸带稳定支持功能损失；对于航运支持功能的影响，建议采用市场价值法计算直接经济损失；对于洪水调蓄、水质净化、气候调节、土壤保持等调节功能的影响，建议采用恢复费用法计算，当恢复方案不可行时，建议采用替代成本法计算调节功能损失；对于以休闲娱乐、景观科研为主要服务功能的水域，建议采用旅行费用法计算文化服务损失，当旅行费用法不可行时，建议采用支付意愿法计算。常见水生态系统服务功能价值量化方法参阅附录 B。如果采用非指南推荐的方法进行环境资源价值量化评估，需要详细阐述方法的合理性。

10 鉴定评估报告编制

根据委托内容，基于评估过程所获得的数据和信息，编制地

表水生态环境损害鉴定评估报告，报告的格式和内容参见附录 A。按照委托要求，报告可包括附录 A 的部分或全部内容。

11 地表水生态环境损害恢复效果评估

制定恢复效果评估计划，通过采样分析、现场观测、问卷调查等方式，定期跟踪地表水生态环境恢复情况，全面评估恢复效果是否达到预期目标；如果未达到预期目标，应进一步采取相应措施，直到达到预期目标为止。

11.1 评估时间

恢复方案实施完成后，地表水与沉积物的物理、化学和生物学状态以及水生态系统服务功能基本达到稳定时，对恢复效果进行评估。

地表水恢复效果通常采用一次评估，沉积物与水生态系统服务功能恢复效果通常需要结合污染物特征、恢复方案实施进度、水生态系统服务功能恢复进展进行多次评估，直到沉积物环境质量与水生态系统服务功能完全恢复至基线水平，至少持续跟踪监测 12 个月。

11.2 评估内容和标准

恢复过程合规性，即恢复方案实施过程是否满足相关标准规范要求，是否产生了二次污染。

恢复效果达标性，即根据基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复方案中设定的恢复目标，分别对基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复的效果进行评估。

恢复效果评估标准参照 9.1.1 确定的恢复目标。

11.3 评估方法

11.3.1 现场踏勘

通过现场踏勘，了解地表水生态环境恢复进展，判断地表水与沉积物是否仍有异常气味或颜色，观察关键水生态系统服务功能指标的恢复情况，确定监测、观测与调查时间、周期和频次。

11.3.2 监测分析

根据恢复效果评估计划，对恢复后的地表水与沉积物进行采样监测，分析地表水与沉积物污染物浓度等指标，开展生物调查以及水生态系统服务功能调查。调查应覆盖全部恢复区域，并基于恢复方案的特点制定分别针对地表水与沉积物环境以及水生态系统服务功能的差异化监测调查方案。基于监测调查结果，采用逐个对比法或统计分析法判断是否达到恢复目标。

11.3.3 分析比对

采用分析比对法，对照地表水与沉积物环境治理与水生态恢复方案，以及相关的标准规范，分析地表水与沉积物环境治理以及水生态系统服务功能恢复过程中各项措施是否与方案一致，是否符合相关标准规范的要求；分析治理和恢复过程中的相关监测、观测数据，判断是否产生了二次污染和其他生态影响；综合评价治理恢复过程的合规性。

11.3.4 问卷调查

通过设计调查表或调查问卷，调查基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复措施所提供的生态系统服务功能类型和服务量，判

断是否达到恢复目标；此外，调查公众与其他相关方对于恢复过程和结果的满意度。

11.4 恢复效果评估报告编制

应编制独立的地表水生态环境恢复效果评估报告。阐述地表水与沉积物及水生态系统服务功能恢复效果评估内容、标准、效果评估过程所采用的方法及评估结果。写明地表水生态环境恢复过程规范性评价所依据的标准和评估结果。阐述效果评估点位布设方案和依据，调查方法（包含样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施），以及调查结果。如果采用调查问卷或调查表对恢复效果和公众满意度进行调查，应详细介绍主要调查内容和结果。

附录 A

(资料性附录)

鉴定评估报告编制要求

A.1 概述

A.1.1 事件基本情况

介绍地表水生态环境损害鉴定评估的背景。对于水环境污染事件，应写明环境损害发生的时间、地点、起因和经过，污染物类型、性质、产生和排放量，污染损害类型、范围与程度。对于突发水环境污染事件，应写明事件发生后采取的应急处置措施等基本情况；如果涉及企事业单位废水和废物排放、泄漏等情况，应写明生产经营历史、生产工艺、产排污环节、历史突发水环境事件、潜在污染源，倾倒、排放、泄漏的废水或废物类型、排放量，特征污染物及其排放量，前期采取的污染控制或污染物清理措施等基本情况。对于水生态破坏事件，应写明生态破坏发生的时间、地点、起因和经过，生态系统服务功能破坏的类型、范围和程度，对地表水与沉积物的影响方式，已经采取的生态恢复措施等基本情况。

A.1.2 区域基本情况

简要介绍地表水生态环境损害区域的自然环境状况和社会经济状况。自然环境状况包括地形地貌、水文和水文地质、气候气

象，地表水利用历史、现状和规划，环境敏感区分布，水生态系统服务功能类型等内容。社会经济状况包括经济和主要产业的现状和发展状况，地方法规政策和标准规范，人口、交通、基础设施、能源和水源供给等内容。

A.1.3 鉴定评估工作基本情况

A.1.3.1 鉴定评估目标

依据委托方委托的鉴定评估事项，阐明开展地表水生态环境损害鉴定评估的目标。

A.1.3.2 鉴定评估依据

写明开展地表水生态环境损害鉴定评估所依据的法律法规、标准、技术规范等内容。

A.1.3.3 鉴定评估范围

写明地表水生态环境损害鉴定评估的损害类型、时间范围、空间范围及确定依据。

A.1.3.4 鉴定评估内容

写明地表水生态环境损害鉴定评估工作的主要内容，包括损害调查确认、因果关系分析、损害实物量化、损害恢复、恢复效果评估等方面。

A.1.3.5 鉴定评估工作程序

详细阐明开展地表水生态环境损害鉴定评估工作的技术路线和工作程序，并给出相应的流程图。

A.2 地表水生态环境损害调查确认

A.2.1 确定调查对象与范围

写明影响水域的水生态系统服务功能主要类型，以及调查重点和调查范围划定的依据。

A. 2. 2 确定调查指标

写明需要开展调查、监测和评估的特征污染物、水文与水文地质指标、水生生物与其他水生态系统服务功能指标，说明指标筛选和确定的依据。

A. 2. 3 水文和水文地质调查

介绍损害调查确认过程中所开展的水文和水文地质调查的调查目的、调查方法和调查结果，包括影响水域所在水系、流域湖库边界、断面形状、流向、流速、流量、水温、降雨量、蒸发量、泥沙含量、本底水质等指标。

A. 2. 4 地表水与沉积物环境调查

阐述所开展的地表水、沉积物环境状况调查过程，包括采样点位布设方案和依据，样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施。分析地表水、沉积物环境状况调查结果，包括污染物类型、浓度和范围。

A. 2. 5 水生态系统服务功能调查

介绍水生物资源与其他水生态系统服务功能调查过程、调查方法和调查结果，对于水环境污染事件，需要阐明污染物对水生生物的影响程度，开展生物观测或生物组织残留浓度检测的原因与结果。

A. 2. 6 地表水生态环境基线

描述地表水生态环境基线水平确定的过程，详细阐明理由。如果采用对照区域数据作为基线水平，应阐述对照区域调查过程，

包括点位布设方案和依据，样品采集、保存和流转方法，分析测试方法，质量控制措施，以及调查结果。如果针对基线水平进行了专项研究，应阐述研究所用到的方法、模型、参数以及研究结果等内容。

A. 2. 7 损害确认

写明地表水生态环境损害确认的结果，包括是否存在生态环境损害、生态环境损害类型、生态环境损害区域等内容。

A.3 地表水生态环境损害因果关系分析

A. 3. 1 污染环境行为导致损害的因果关系分析

对于污染环境行为导致的损害，其鉴定评估报告的因果关系分析部分应包含以下内容。

A. 3. 1. 1 污染源分析

详细介绍污染源确定的思路、过程和结果，对各类潜在污染源进行描述。对于污染源不明确的情况，应说明污染源调查所采用的方法、过程和结果。当存在多个潜在污染源时，阐述污染源分析所采用的方法、过程和结果。如果开展了指纹图谱、同位素分析等专项研究，应详细阐明研究方案、过程与结果。

A. 3. 1. 2 暴露评估

阐述“污染物-地表水-沉积物-生物受体-生物效应”的污染物传输、释放、暴露、影响和损害机理，提出污染物暴露路径概念模型，根据暴露水平和暴露时间，计算污染暴露产生的生物或生态效应。对暴露评估中建立的相关假设，通过文献总结、实验室实证研究和模型模拟等方法进行证明。

A.3.1.3 因果关系分析

总结污染源分析及暴露评估过程所获得的信息，依据环境污染因果关系判定原则，得出因果关系判定结论。

A.3.2 破坏生态行为导致损害的因果关系分析

对于破坏生态行为导致的损害，应阐述破坏生态行为导致地表水生态环境受到损害的作用机理，依据生态破坏因果关系判定原则，得出因果关系判定结论。

A.4 地表水生态环境损害实物量化

基于 A.2.6 所确定的基线水平，对地表水生态环境损害程度和范围进行量化，计算地表水与沉积物环境质量的损害程度，以及水生生物资源损害量、水生生物栖息地面积、水资源量等生态系统服务功能受损程度，并给出地表水与沉积物、水生生物及其他水生态系统服务功能的损害范围。

A.5 地表水生态环境损害恢复或价值量化

阐明地表水生态环境综合恢复方案确定与价值量化的基本思路与依据。对于突发水环境污染事件，主要介绍实际水环境治理方案以及实际治理费用的统计核算。

如果基于恢复方案进行损害赔偿，应详细阐述基本恢复、补偿性恢复、补充性恢复的总体目标和分阶段目标及其确定依据，各个阶段所采用的恢复技术和方案及其比选过程。如果需要，基于所确定的恢复方案计算各阶段恢复费用。

如果基于环境价值量化方法确定损失，应阐述所用到的价值量化方法、选择依据、评估过程和评估结果。对于虚拟治理成本

法，重点介绍单位治理成本的确定方法、环境功能调整系数的确定依据。

A.6 鉴定评估结论

针对地表水生态环境损害鉴定评估委托事项，写明每一项鉴定评估结论，包括地表水生态环境是否受到损害、损害是否与污染源或生态破坏行为具有因果关系、损害的范围和程度、受损地表水生态环境的恢复过程是否合规以及是否达到目标等内容。对涉及地表水生态环境损害鉴定评估过程中的特别事项进行说明，分析鉴定评估结论可能存在的 uncertainty。

对地表水生态环境损害的补充性恢复、跟踪监测、效果评估等工作提出必要的建议。

A.7 签字盖章

阐明地表水生态环境损害鉴定评估报告的真实性、合法性、科学性；明确报告的所有权、使用目的和使用范围；所有参与报告编制的人员进行署名，并盖报告编制单位公章。

A.8 附件

附件包括地表水生态环境损害鉴定评估工作过程中所制定的各类方案和所获取的各种证据资料，包括鉴定评估方案、各类调查监测方案、效果评估方案，各类调查监测数据和报告、效果评估报告，以及各类图件、照片、访谈记录等材料。

附录 B

(资料性附录)

常见地表水生态系统服务功能损害评估方法

B.1 产品供给

地表水生态系统产品供给服务价值是指地表水生态系统通过初级生产、次级生产为人类提供淡水产品、水资源供给等的经济价值。

B.1.1 水产品供给

运用市场价值法对提供淡水产品的供给服务进行价值核算。核算模型如下：

$$V_p = \sum_{i=1}^n Y_i \times P_i \quad (\text{B. 1-1})$$

式中， V_p 为生态系统物质产品价值（元/年）； Y_i 为第 i 类生态系统产品产量（根据产品的计量单位确定，如 kg/年等）； P_i 为第 i 类生态系统产品的价格（根据产品的计量单位确定，如元/kg 等）。如果水产品供给服务长期受损（损害时间大于 1 年），需要对其损失进行贴现计算。

适用范围：由于水环境污染事件、过度捕捞、侵占围垦等生态破坏事件造成鱼虾等水产品的损失。

B.1.2 水资源供给

运用影子价格法对水资源供给价值进行计算。所谓影子价格，

是指资源投入的潜在边际效益，它反映了产品的供求状况和资源的稀缺程度，即资源的数量和产品的价格影响着影子价格的大小。资源越丰富，其影子价格越低，反之亦然；对于水资源来说，它所创造的追加效益越高，其影子价格就越高。水资源供给服务计算模型如下：

$$V_w = \left(\prod_{t_0}^t PI_t \right) \cdot P_w \cdot Q_w \quad (\text{B.1-2})$$

式中， V_w 为水资源损失的总价值； P_w 为受影响水资源的影子价格； Q_w 为受影响的水资源量； PI_t 为水产品出厂价格指数，数据来源于统计年鉴； t_0 为基准年。如果水资源供给服务长期受损（损害时间大于 1 年），需要对其损失进行贴现计算。

适用范围：由于水环境污染事件造成的水资源供给服务的损失，以及突发水环境事件采取的应急措施，如通过释放水库水冲走污染团，也造成水资源损失，包括水量减少及水力发电量减少。

B.1.3 电力供给

水资源的减少导致电力供给的降低。通过调查发电量，包括水力发电等，核算电力供给的减少量，结合当地电力价格，计算得出电力供给减少的价值量。

B.2 支持服务

B.2.1 河床结构破坏与土壤流失

河床结构破坏常见于工程建设与河道采砂等活动，造成河床沉积结构、地形地貌与支撑功能的改变。工程建设与河道采砂等活动改变了河流泥沙与输送能力之间的平衡状态，会造成河床下

切，河岸侵蚀，损害河床及河岸带的稳定性，并影响河流的自然水文情势。

河床结构破坏通常还带来土壤流失，因河岸带、湖岸带等区域的植被、沉积结构破坏导致岸边土壤、砂层等环境介质失去固着力后随降雨、水流的冲刷而流失，进而造成河岸生态环境和堤防工程等的破坏。土壤流失造成流失区及周边植被生长环境破坏，也易造成堤防工程受损，流失的土壤顺流而下淤积河床及下游涉水构筑物，造成河流等水体水文情势的变化。

计算河床结构变化与土壤流失的价值量时，以实际恢复工程法进行核算，即通过实测工程建设、采砂活动及土壤流失等情况造成的损失量或破坏量，进行恢复方案设计。

设计河道、河岸等恢复方案时，应按 GB 50286 和 SL 386 等技术规范中关于河道边坡设计的要求开展；评估工程恢复效果时，应充分考虑工程建设、采砂行为、土壤流失发生后对河流水动力条件的改变，计算河道冲淤强度、泥沙恢复饱和系数等，进行河道冲刷、河道演变等分析，如采用三维 ASM 模型研究河床的稳定与变形，采用一维数学模型和动力学模型模拟多级河道泥沙输移等，评估恢复工程实施前后河道、河岸的变化及恢复率。

B.2.2 生物多样性与自然人文遗产维护

对于以生物多样性、自然人文遗产维护为主要服务功能的水域，建议采用恢复费用法计算支持功能损失。当恢复方案不可行时，建议采用支付意愿法或保育成本法计算。

(1) 恢复费用法

该方法主要根据将生态环境恢复至基线需要开展的生态环境恢复工程措施的费用进行计算，同时，还应包括生态环境损害开始发生至恢复到基线水平的期间损害。以恢复受损生态环境为目标制定恢复方案或评估恢复费用，保证实施恢复措施后生态环境资源所拥有的资源和所提供的生态服务与污染或破坏事故发生前等量或达到稳定的、可持续状态，或者好于地表水生态环境事件发生前的基线状况。通常采用等值分析法计算期间损害，损失和期望恢复效益可用资源或服务单位形式或者货币形式加以表达。为保证损失与效益之间在同一标准下等值，采用以下步骤：量化损害引起的损失；确定每单位效益的预期恢复量；用总损失除以每单位效益恢复量，得出需要的恢复总量。

a) 量化生态环境期间损害

期间损害的计算公式如下：

$$H = \sum_{t=0}^n (R_t \times d_t) \times (1+r)^{(T-t)} \quad (\text{B. 2-1})$$

式中， H 是期间损害； t 是评估期内的任意给定年（ $0 \sim n$ 之间）； n 是终止年，是指不再遭受进一步损害（或者通过自然恢复达到，或者通过基本恢复措施达到）的年份； T 是基准年，为开始评估的年份； R_t 是受损害资源或服务的数量； d_t 是损害程度，指资源或服务的受损程度； r 是贴现系数。采用现值系数对过去的资源或服务损失进行复利计算和对未来的资源或服务损失进行贴现计算，现值系数一般取值 3%。

b) 确定单位恢复措施产生的恢复期间效益

单位恢复措施产生的生态系统服务期间效益的计算公式如

下：

$$E = \sum_{t=t_1}^n e \times (1+r)^{T-t} \quad (\text{B. 2-2})$$

式中， E 为补偿性恢复行动的单位效益，即补偿性单位资源量或服务量所产生的单位效益，单位为年； e 为补偿性恢复工程在 t 年的年度单位效益； t_1 为补偿性恢复工程的起始年； T 为计算基准年； r 为贴现系数，一般取值3%。 n 为补偿性恢复工程单位效益的贴现值近似为0的年份。

c) 确定补偿性恢复方案的规模

补偿性恢复方案的规模 S 等于需要补偿的期间损害量 H 除以补偿性恢复方案恢复单位资源与服务所产生的效益 E ，计算公式如下：

$$S = \frac{H}{E} \quad (\text{B. 2-3})$$

式中， S 为补偿性恢复工程的规模，通常以恢复的资源量或恢复面积来计量； H 为期间损害量； E 为补偿性恢复工程的单位效益。

(2) 支付意愿法

生物多样性、自然人文遗产作为一种文化服务资源，其价值主要体现在美学、科研、物种遗传价值等方面，主要体现为非使用价值，可以通过人们愿意为其改善或恢复支付的金额来进行评估。采用支付意愿法进行生物多样性经济价值的评估。模型如下：

$$V_{BWPT} = \sum_{t=0}^n (\Delta Q_{n,t} \times P_{n,t}) \quad (\text{B. 2-4})$$

式中， V_{BWPT} 为损失的价值量； t 为评估期内的任意给定年（ $0 \sim n$ 之间）， $t=0$ 是起始年，是损害开始年或损失计算开始年； $t=n$ 是

终止年，终止年是不再遭受进一步损害（或者通过自然恢复达到，或者通过主要恢复措施达到）的年份。 $Q_{n,t}$ 为资源或服务随时间的变化，此参数可以是资源或服务因损害引起的总变化的定性描述； $P_{n,t}$ 为资源或服务变化的价值，通过问卷调查设计模拟市场来获取人们赋予环境资源或服务变化的价值（用货币衡量），可以利用人们对预防环境变化的支付意愿或不希望变化的接受意愿来表达。

（3）保育成本法

地表水生态系统的生物多样性保育成本主要根据受损水域的鱼类、鸟类、大型底栖动物、高等植物等的物种丰富度，以及珍稀濒危物种的数量及特征来计算。计算模型如下：

$$V_{BM} = G_{bio} \times S_{\text{生}} \times A \quad (\text{B. 2-5})$$

$$G_{bio} = 1 + 0.1 \sum_{m=1}^x E_m + 0.1 \sum_{n=1}^y B_n + 0.1 \sum_{r=1}^z O_r \quad (\text{B. 2-6})$$

式中， V_{BM} 为生物多样性价值（元/年）； G_{bio} 为物种保育的实物量； $S_{\text{生}}$ 为单位面积每年物种保护的成木（元/hm²·年），可结合受损物种或栖息地所在区域的当地保育成本来确定； A 为群落面积（hm²）。 E_m 为区域内物种 m 的濒危物种指数分值； B_n 为区域内物种 n 的特有物种指数分值； O_r 为区域内物种 r 的古树年龄指数； x 为计算濒危物种指数的物种数量； y 为计算特有物种指数的物种数量； z 为计算古树年龄的物种数量。

B. 2. 3 航运支持

航运支持是指通过内陆水路运输的方式运输人和货物，包括客运和货运。可以采用市场价值法计算直接经济损失。航运支持

服务价值主要指计算内陆航运的运输费用。内陆航运的航运量和航运价格数据来源包括统计年鉴、水资源公报、交通年鉴、旅游业报告等统计资料。航运支持服务价值量为客运价值量和货运价值量的总和，计算模型如下：

$$V_t = Q_{\text{客}} \times L_{\text{客}} \times P_{\text{客}} + Q_{\text{货}} \times L_{\text{货}} \times P_{\text{货}} \quad (\text{B. 2-7})$$

式中， V_t 为航运价值量； $Q_{\text{客}}$ 为水路运输的年客运人数（人次）； $L_{\text{客}}$ 为客运路线长度（km）； $P_{\text{客}}$ 为客运价格（元/人次·km）； $Q_{\text{货}}$ 为水路运输的年货运量（t）； $L_{\text{货}}$ 为货运路线长度（km）； $P_{\text{货}}$ 为货运价格（元/t·km）。

适用范围：适用于因水环境污染、侵占围垦、违规工程建设等污染破坏事件导致的航运功能的降低。

B.3 调节服务

B.3.1 洪水调蓄

洪水调蓄功能是指地表水生态系统其特有的生态结构能够吸纳大量的降水和过境水，蓄积洪峰水量，削减并滞后洪峰，以缓解汛期洪峰造成的威胁和损失的功能。工程建设、地质结构变化和侵占围垦等事件会造成河道改变，湖泊、河岸、水库以及河口湿地等周边的植被也会破坏，致使洪水调蓄范围缩小，从而导致洪水调蓄能力的减弱。

洪水调蓄量核算的主要思路是依据洪水前后湖泊、水库以及河湖周边沼泽湿地等的水位变化量与相应湿地类型的面积计算。

湖泊和水库可直接采用年内水位最大变幅来估算洪水调蓄量：

$$F_{lr} = S \times \Delta H \quad (\text{B. 3-1})$$

式中， F_{lr} 为调蓄量； S 为湖泊或水库面积； ΔH 为洪水前后水位变化量。

沼泽湿地需要同时考虑沼泽土壤蓄水和地表滞水两部分进行核算：

$$F_m = S \times \Delta H + O \quad (\text{B. 3-2})$$

式中， F_m 为调蓄量； S 为沼泽湿地面积； ΔH 为洪水前后沼泽湿地水位变化量； O 为湿地泥炭土壤蓄水量。

洪水调蓄价值量采用影子工程法进行核算，通过建设水库的成本计算生态系统的洪水调蓄价值。

$$V_f = F \times c \quad (\text{B. 3-3})$$

式中， V_f 为洪水调蓄价值； F 为所有湿地（湖泊、水库、沼泽）洪水调蓄能力； c 为建设单位库容的造价。

适用范围：违规工程建设造成河道改变、地质结构物理变化带来的蓄水容量减少；湖泊、河流岸带或河口湿地植被破坏造成的洪水调蓄降低。

B. 3.2 水质净化

水质净化功能是指湖泊、河流、沼泽等水域吸附、降解、转化水体污染物，净化水环境的功能。

水质净化核算需要根据污染情况选取不同的核算方法。当水环境质量满足或优于Ⅲ类水，表明污染物排放量没有超过水环境容量，采用污染物排放量估算水质净化量的实物量。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (\text{B. 3-4})$$

式中， Q_{wp} 为水污染物排放总量（kg）； Q_i 为第*i*类水污染物排放量（kg）；*i*为污染物类别。

当水环境质量劣于Ⅲ类水，说明污染物排放量超过环境容量，采用水生态系统自净能力估算实物量，将水域按照栅格进行划分。

$$ALV_x = HSS_x \times pol_x \quad (B.3-5)$$

$$HSS_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_w} \quad (B.3-6)$$

$$\lambda_x = \log(\sum_U Y_u) \quad (B.3-7)$$

式中， ALV_x 为栅格*x*调节的载荷值； pol_x 为栅格*x*的输出系数； HSS_x 为栅格*x*的水文敏感性得分值； λ_x 为栅格*x*的径流指数； λ_w 为流域平均径流指数； $\sum_U Y_u$ 为径流路径内*x*栅格以上栅格产水量的总和。

水质净化价值量采用替代成本法进行计算，利用水污染物治理成本进行核算。

$$V_{wp} = \sum_{i=1}^n c_i \times Q_i \quad (B.3-8)$$

式中， V_{wp} 为地表水生态系统水质净化的价值（元）； c_i 为单位水污染物治理成本（元/t）； Q_i 为污染物水质净化实物量（t）。

适用范围：水环境污染事件以及违规工程建设造成河流、湖泊、水库以及沼泽等水域的水环境质量降低。

B.3.3 气候调节

地表水生态系统气候调节服务是指通过水面蒸发过程吸收太阳能，降低气温、增加空气湿度，改善人居环境舒适程度的生态功能。其中，降温功能在气温大于 26.0℃时计算，增湿功能在相

对湿度小于 45% 时计算。气候调节实物量主要依据水面的蒸发量进行估算：

$$E_{we} = E_w \times q \times 10^3 / 3600 + E_w \times y \quad (\text{B. 3-9})$$

式中， E_{we} 为地表水生态系统水面蒸发消耗的能量 (kW·h)； E_w 为水面蒸发量 (m³)； q 为挥发潜热 (J/g)； y 为 1 m³ 水转化为水蒸气的耗电量。

气候调节价值量运用替代成本法进行核算，通过人工调节相应温度和湿度所需要的耗电量进行计算：

$$V_{tt} = E_{we} \times P_e \quad (\text{B. 3-10})$$

式中， V_{tt} 为地表水生态系统气候调节的价值； E_{we} 为地表水生态系统调节温湿度消耗的总能量； P_e 一般参考工业电价。

适用范围：侵占围垦和违规工程建设等生态破坏行为造成水面范围减小，进而导致气候调节能力下降。

B. 3.4 土壤保持

土壤保持功能是生态系统（如森林、草地等）通过林冠层、枯落物、根系等各个层次保护土壤、消减降雨侵蚀力，增加土壤抗蚀性，减少土壤流失，保持土壤的功能。当河流和湖泊岸带植被或沼泽湿地被侵占围垦时，土壤受侵蚀度会增加，土壤保持功能降低。

通过设置有植被和无植被两种情景模式，选用两种情境下的植被土壤侵蚀模数进行估算：

$$Q = A \times (X_2 - X_1) \quad (\text{B. 3-11})$$

式中， Q 为土壤保持量； A 为湿地土壤面积； X_1 为有湿地植被情景

下土壤侵蚀模数； X_2 为无植被情景下土壤侵蚀模数。

土壤保持价值量运用替代成本法进行核算，主要从减少泥沙淤积和保持土壤养分两方面进行考虑，通过清淤工程费用和化肥成本进行估算。

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{dpd} \quad (\text{B. 3-12})$$

$$V_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho) \times c \quad (\text{B. 3-13})$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times c_i \times R_i \times T_i \quad (\text{B. 3-14})$$

式中， V_{sr} 为生态系统土壤保持价值（元/年）； V_{sd} 为减少泥沙淤积价值（元/年）； V_{dpd} 为减少面源污染价值（元/年）； Q_{sr} 为土壤保持量（t/年）； c 为单位水库清淤工程费用（元/ m^3 ）； ρ 为土壤容重（ t/m^3 ）； λ 为泥沙淤积系数； i 为土壤中污染物种类， $i=1, 2, \dots, n$ ； c_i 为土壤中污染物（如氮、磷）的纯含量（%）； R_i 为氮、磷、钾元素和有机质转换成相应肥料（尿素、过磷酸钙和氯化钾）及碳的比率， T_i 为尿素、过磷酸钙、氯化钾、有机质（转化成碳）价格（元）。

B.4 休闲旅游

对于以休闲娱乐、景观科研为主要服务功能的水域，建议采用旅行费用法计算文化服务损失。旅行费用法是非市场物品价值评估的一种比较成熟的评估技术，主要适用于风景名胜区、休闲娱乐地、国家公园等地的文化服务价值评估。当旅行费用法不可行时，采用支付意愿法计算。

文化旅游服务价值的实物量主要体现在旅游人数，根据旅游部门相关的统计数据获取地区旅游人数，并从中筛选出生态文化

旅游人数作为实物量进行核算，即：

$$\text{文化旅游实物量} = \text{生态系统文化旅游人数} \quad (\text{B. 4-1})$$

$$\text{旅游文化服务价值} = \text{消费者实际支出费用} + \text{消费者剩余} \quad (\text{B. 4-2})$$

旅游文化服务价值的调查计算步骤如下：

1) 对旅游者进行抽样调查，获得游客的客源地、游憩花费金额、游憩花费时间和被调查者的社会经济特征；

2) 定义和划分旅游者的出发地区，以此确定消费者的交通费用和经济水平；

3) 计算每一区域内到研究区旅游的人次（旅游率）；

$$Q_i = \frac{V_i}{P_i} \quad (\text{B. 4-3})$$

式中， Q_i 为旅游率； V_i 为根据抽样调查的结果推算出的 i 区域中到评价地点的总旅游人数； P_i 为 i 区域的人口总数。

4) 根据对旅游者调查的样本资料，用分析出的数据，对不同区域的旅游率和旅行费用以及各种社会经济变量进行回归，建立需求模型，即旅行费用对旅游率的影响。

$$\text{消费者实际支出费用} = \text{交通费用} + \text{景区门票费} + \text{食宿费} + \text{购买旅游商品费用} + \text{娱乐休闲费用} + \text{时间成本}$$

$$\text{时间成本} = \text{旅行时间} \times \text{客源地平均工资}$$

5) 计算旅游文化服务的剩余价值。

$$V_T = \int_{\text{实际旅费}}^{P_m} f(x) dx \quad (\text{B. 4-4})$$

式中， V_T 为消费者旅游服务剩余价值； P_m 为追加旅费最大值； $f(x)$ 为旅游费用与旅游率的函数关系式。

附录 C

(资料性附录)

常用地表水生态环境修复和恢复技术适用条件与技术性能

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
曝气增氧技术	向处于缺氧（或厌氧）状态的河道进行人工充氧，增强河道的自净能力，净化水质、改善或恢复河道的生态环境。	有机污染物	在污水截流管道和污水处理厂建成之前，为解决河道水体的有机污染问题而进行人工充氧；在已治理的河道中设立人工曝气装置作为应对突发性河道污染的应急措施。	设备简单、机动灵活、安全可靠、见效快、操作便利、适应性广，但河流曝气增氧-复氧成本较高。	该技术在国外应用已经非常成熟。国内除了在北京、上海等地的小河道治理中使用过外，尚未在大规模河道综合治理中应用。	非常适合于城市景观河道和微污染源水的治理。	对水生态不产生二次污染和破坏。
生态浮床技术	将植物种植于浮于水面的床体上，利用植物根系直接吸收和植物根系附着微生物的降解作用有效进行水体修复。	总磷、氨氮、有机物等	适用于富营养化水体的原位修复，受植物的季节性影响严重。	投资成本低，运营成本高。	技术相对成熟，国内有一定的应用案例。	技术可靠。	部分植物有造成生物入侵的风险。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
引水冲污/换水稀释技术	通过加强沉积物-水体界面物质交换，缩短污染物滞留时间，从而降低污染物浓度指标，死水区、非主流区重污染河水得到置换，改善河道水质。	无机和有机污染物	适用于水资源丰富的地区。通常作为应急措施或者辅助方法。	需要耗费大量优质水资源。引水工程量较大，费用较高。	在国内外湖泊富营养化治理中有所应用，对于污染严重且流动缓慢的河流也可考虑采用。	技术可靠。	没有从根本上去除污染物，增加了河道的水体，对下游会造成一定的冲击，污染物随着水流进入下游，将影响下游的水质和负荷。
底泥疏浚技术	去除底泥所含的污染物，消除污染水体的内源，减少底泥污染物向水体的稀释。	氮、磷、重金属、有毒有害有机物	实施的基础和前提条件是湖泊和河流外源必须得到有效控制和治理，否则无法保证疏浚效果的持续，也就无法达到改善水质与水生态的目的；疏浚的重要原则之一是局部区域重点疏浚，优先在底泥污染重、释放大量的河段与湖区开展底泥疏浚；需与生态重建有机结合才能达到良好的效果。	工程量大、成本高。	成熟度高，在国内外已经得到广泛的工程应用。	技术可靠。	疏浚过深将破坏原有生态系统；对于清除的底泥要进行后续处理，处理不当易引起二次污染。
化学絮凝技术	通过投加化学药剂去除水中污染物以达到改善水质的目的。	磷、重金属等	适用于突发水环境事件临时应急措施。	工程量大、成本高。	成熟度较高，国内多次应用在突发环境事件应急处置中，如镉污染、锑污染等。	技术可靠、快速高效。	处理效果易受水体环境变化的影响，且必须顾及化学药剂对水生生物的毒性及对生态系统的二次污染，应用具有很大的局限性。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
生物膜技术	结合河道污染特点及土著微生物类型和生长特点，培养适宜的条件使微生物固定生长或附着生长在固体填料载体的表面，生成胶质相连的生物膜。通过水的流动和空气的搅动，生物膜表面不断和水接触，污水中的有机污染物和溶解氧为生物膜所吸收从而使生物膜上的微生物生长壮大。	溶解性的和胶体状的有机污染物	微生物群体通过摄取有机物，在一定范围内繁殖并培养出菌群，能持续去除水中污染物。生物膜法的适应能力很强，可根据水质、水文、水量的变化发生变化，消化能力与处理能力较好。	投资运营费用较大，实施时需要大量的投资，及一定的管理技术和经费。	用于河流净化的生物膜技术在国外研究较多，尤其是日本，已在工程实践中运用多种生物膜技术对污染严重的中小河流进行净化。	能有效去除污染水体中的氨氮和有机物，可以大大改善水质。	该技术未改变地表水体原有的生态系统，不会造成二次污染和破坏。
人工湿地技术	湿地修建在河道周边，利用地势高低或机械动力将部分河水引入到生长有芦苇、香蒲等水生植物的湿地上，污水在沿一定方向流动过程中，经过水生植物和土壤的作用净化后回到原水体。	氮、磷、重金属等污染物	污水处理系统的组合具有多样性和针对性，减少或减缓外界因素对处理效果的影响；可以和城市景观建设紧密结合，起到美化环境的作用。受气候条件限制较大；设计、运行参数不精确；占地面积较大，容易产生淤积、饱和现象；对恶劣气候条件防御能力弱；净化能力受作物生长成熟程度的影响大。	投资费用低，建设、运行成本低，处理过程能耗低。	该技术已经非常成熟，在国内外有广泛的工程应用。	污水处理效果稳定、可靠。	位置选择不当或处理能力不满足实际需求时，会污染周围土壤和地下水。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
微生物直投法净化技术	利用微生物唤醒或激活河道、污水中原本存在的可以净化水体但被抑制不能发挥功效的微生物，从而降解水体中的污染物。	氮、磷、重金属等污染物	当河流污染严重而又缺乏有效微生物作用时，投加微生物能有效促进有机污染物降解。适合湖库水体在藻类大量爆发前使用，可弥补微生物制剂见效时间较长的缺点。	工程量小，投资成本高。	技术相对成熟，国内外有一定应用。	受限于微生物适应性和水体特点，修复效果不一。	所投加的微生物若含病原菌等有害微生物，会破坏水体原生生态系统。
砾间接触氧化技术	通过在河流中放置一定量的砾石做充填层，增加河流断面上微生物的附着膜层数，水中污染物在砾间流动过程中与砾石上附着的生物膜接触沉淀。		适用于污染物浓度较低的河流，当水体 BOD 高于 30mg/L 时，应增加曝气系统。	投资和运行成本低。	该技术在国外应用已经非常成熟，在日本和韩国有成熟的工程应用案例。	技术可靠。	对水生态不产生二次污染和破坏。
河道稳定塘技术	利用植被的天然净化能力处理污水，实现水体净化。		可利用河边的洼地构建稳定塘，对于中小河流（不通航、不泄洪）可直接在河道上筑坝拦水构建河道滞留塘。江南地区可利用氧化塘的水面种植多种水生植物，养殖鱼、贝、虾等，建立复杂的多级稳定塘系统。	投资较少。	成熟度高，国内外已经得到广泛工程应用。	具有统一和调和微生物水生植物的功能，修复效果好。	对水生态不产生二次污染和破坏。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
河床生态构建技术	通过埋石法、抛石法、固床工法、粗柴沉床法或巨石固定法等方式将石头或柴等材料置于河床上，营造水生生物和微生物生长的河床，改善水体生态系统。		埋石法一般用于水流湍急且河床基础坚固的地区。	投资费用低，运行过程能耗低。	成熟度高，国内外已得到工程应用。	能有效改善水体生物和微生物生长环境。	重构水生态系统，对水生态不产生二次污染和破坏。
增殖放流技术	增加水生生物数量。		地表水体中鱼虾类等水生生物数量因受到损害而降低，可采用增殖放流的措施进行恢复。具体方法参考 SC/T 9401。	对水域条件、苗种来源、亲体来源、苗种培育等有严格要求，技术要求较高，成本较大。	该技术在国内应用成熟，具有相关技术规程。	适合鱼虾类等水生生物数量严重受损，且适合进行恢复的情况。	对水生态不产生二次污染和破坏。
河道整治	按照河道演变规律，恢复河道稳定结构，改善河道边界条件、水流流态和生态环境的治理活动。		因非法采砂等生态破坏行为造成河岸、河床、河滩地等结构受损，威胁水文情势安全及水生生物栖息与生存环境，具体方法参考 GB 50707。	操作较简单，成本较高。	该技术在国内应用成熟，具有相关技术规程。	适合河道结构遭受破坏，需要通过工程措施，如回填等恢复到河道稳定结构状态。	有产生二次污染和破坏的风险。
物种孵化技术	采用人工孵化技术，对受损水生生物物种进行恢复，增加物种数量。		适合于受损物种的数量恢复，孵化技术措施包括饲养场选择、布局、笼舍、孵化室、育雏室、饲养等。	需要一定的场地空间，并进行笼舍建设等，成本较高。技术水平及环境条件要求较高。	该技术在国内应用成熟，具有相关技术规程。	非常适合动物物种数量及种群的恢复。	无产生二次污染和破坏的风险。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
洄游通道	通过恢复河道自然连通，增设鱼道等措施构建洄游性鱼类洄游通道，恢复其繁殖栖息环境和条件。		适合于因违法违规水利工程建设阻挡鱼类洄游通道，导致洄游性鱼类减少或消失的情况。通过恢复或构建鱼类洄游通道，保证其自然洄游路线畅通，促进其自然繁殖、栖息。	需通过河道整治、在水利工程处补建洄游通道、保证水体质量等措施，重建洄游通道，成本较高。	综合了多方面的技术措施，成本较高。	适合鱼类洄游通道恢复。	无产生二次污染和破坏的风险。
营建人工繁殖岛 (栖息地建设)	针对部分水生生物、集群营巢的鸟类(如鸥、燕鸥和一些水禽)、水生哺乳动物等可以通过岸滩修复、修建岛屿、渔业资源增殖放流等来帮助创造营巢地、栖息地，改善水域生态状况，创造适宜动物栖息的空间。		适用于水生生物、水禽栖息地受到破坏导致物种和种群数量减少的情况。通过营建人工繁殖岛，促进物种种群数量增长与恢复。	需要一定的场地空间，并建立适宜的栖息环境，且需要适当的监测维护措施，成本较高。	针对不同物种栖息地建设，国内外均有一定数量的成功案例。但针对不同物种栖息地建设的成熟度及发展水平不一。部分鸟类物种栖息地建设发展较为成熟，而针对地表水体的水生生物栖息地建设缺少成熟的技术规范。	适合水禽和水生哺乳动物等物种数量和种群的恢复。	无产生二次污染和破坏的风险。

修复恢复技术	技术功能	目标污染物	适用性	成本	成熟度	可靠性	二次污染和破坏
自然衰减+监测技术	利用地表水体的自净、污染物的自然衰减以及水生态系统的自然恢复等能力，实现地表水生态环境的修复和恢复，同时对地表水、沉积物以及水生生物等进行定期监测和监控。		适用范围较窄，一般仅适用于污染程度较低、污染物自然衰减能力较强的区域，且不适用于对地表水生态环境恢复时间要求较短的情况。	主要为地表水、沉积物和水生生物监测产生的费用，成本较低。	作为一种有效的方法在世界范围内得到应用。	取决于污染程度、污染物的自然衰减能力以及生态系统自我修复能力。	一般不会对水生态产生二次污染和破坏。