

### 8.2.3 损害时间范围确定

基本恢复方案达到预期恢复目标的持续时间为地表水生态环境损害持续时间。涉及产品供给服务、水源涵养等调节服务、休闲旅游等文化服务功能以及航运交通和栖息地等支持功能的，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、旅游人次等生态服务功能影响的持续时间，确定损害时间范围。

没有适合的基本恢复方案时，为永久性生态环境损害。

### 8.2.4 期间损害计算

利用等值分析法对地表水生态环境损害开始发生到恢复到基线水平的期间损害进行量化，计算补偿性恢复的规模。期间损害的计算一般选择基本恢复方案中表征损害范围或损害程度时间最长的指标，根据地表水生态环境损害的特点，可以选择资源类指标（如指示性水生生物物种数量或密度、水产品产量、水资源供给量、采砂量等）或者服务类指标（如河流或湖库的长度或面积、航运量、休闲旅游人次、洪水调蓄量等）计算期间损害；如果实物量指标不可得或没有适合的补偿性恢复方案，可以选择损害价值量作为量化指标（如旅游收入等）计算期间损害。

期间损害的计算方法参照 GB/T 39791.1 中等值分析法的相关内容。

### 8.2.5 补偿性恢复方案

#### 8.2.5.1 补偿性恢复目标确定

补偿性恢复的目标是补偿受损地表水和沉积物生态环境恢复至基线水平期间的损害。当采用资源类指标表征期间损害时，原则上补偿性恢复目标与基本恢复目标采用相同的表征指标；当采用服务类指标表征期间损害时，利用服务指标表征补偿性恢复规模，并根据实际需要选择其他资源类指标表征服务水平。

#### 8.2.5.2 制定原则

补偿性恢复方案可以与基本恢复方案在不同或相同区域实施，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，或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。比如，对于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。

## 8.3 恢复技术筛选

基本恢复方案和补偿性恢复方案可以是一种或多种地表水和沉积物恢复技术的组合。

地表水和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，结合地表水和沉积物污染特征、水生生物和水生态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见附录 B。

## 9 地表水生态环境损害价值量化

### 9.1 实际治理成本法

对于突发水环境污染事件，如果地表水和沉积物中的污染物浓度在应急处置阶段内恢复至基线水平，水生生物种类、形态和数量以及水生态服务功能未观测到明显改变的，采用实际治理成本法统计应急处置费用。

对于其他地表水生态环境损害，已经或正在开展水环境治理或水生态恢复的，适用实际治理成本法。

实际治理成本基础数据的统计与校核参见《突发环境事件应急处置阶段环境损害评估推荐方法》和《突发生态环境事件应急处置阶段直接经济损失核定细则》。

### 9.2 恢复费用法

按照地表水和沉积物生态环境基本恢复和补偿性恢复方案，采用费用明细法、指南和手册参考法、承包商报价法、案例比对法等方法，计算恢复方案实施所需要的费用。具体参照 GB/T 39791.1 中生态环境恢复费用计算的相关内容。

### 9.3 环境资源价值量化方法

对于受损地表水和沉积物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的，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。具体根据评估区的水生态服务功能，采用直接市场法、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服务功能及其期间损害进行价值量化，具体如下：

- a) 对于以水产品生产为主要服务功能的水域，采用市场价值法计算水产品生产服务损失；
- b) 对于以水资源供给为主要服务功能的水域，采用水资源影子价格法计算水资源功能损失；
- c) 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，采用支付意愿法、物种保育法计算；
- d) 对于砂石开采影响地形地貌和岸带稳定的情形，采用恢复费用（实际工程）法计算岸带稳定支持功能损失；
- e) 对于航运支持功能的影响，建议采用市场价值法计算航运支持功能损失；
- f) 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；
- g) 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。
- h) 常见水生态服务功能价值量化方法参见附录 A。对于采用非指南推荐的方法进行环境资源价值量化评估的，需要详细阐述方法的合理性。

对于超过地表水环境质量基线，但没有超过地表水环境质量标准并影响水生态功能的情况，根据损害发生地的水资源非使用基准价值和根据超过基线倍数确定的水资源非使用基准价值调整系数计算水资源受损价值，调整系数见表 2。地表水资源非使用基准价值为损害发生地水资源费或水资源税的 1/2；当损害涉及多个地方时，根据多个地方的水资源税费和水量加权计算确定。对于超过地表水环境质量标准并影响水生态功能的情况，如果计算得到的水生态功能损害价值小于受损的水资源非使用价值，可以以受损的水资源非使用价值作为计算结果，但两者不能相加，以避免重复计算。

表 2 水资源非使用基准价值调整系数

地表水环境质量超基线的倍数	调整系数
≤5 倍	0.2
>5-≤20 倍	0.4
>20-≤100 倍	0.6
>100-≤1000 倍	0.8
>1000 倍	1.0

#### 9.4 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无法以合理的成本确认地表水生态环境损害范围和程度或量化生态环境损害数额的情形，采用虚拟治理成本法计算生态环境损害。具体参照 GB/T 39793.2。

### 10 鉴定评估报告编制

地表水生态环境损害鉴定评估报告的格式和内容参见 GB/T 39791.1 中生态环境损害鉴定评估报告书的编制要求。

### 11 地表水生态环境损害恢复效果评估

#### 11.1 工作内容

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，定期跟踪地表水和沉积物生态环境恢复情况，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。

#### 11.2 评估时间

恢复方案实施完成后，地表水和沉积物的物理、化学和生物学状态以及水生态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。

#### 11.3 评估内容和标准

恢复过程合规性，即恢复方案实施过程需满足相关标准规范要求，无二次污染或二次破坏。

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

恢复效果评估标准参照 8.2 确定的恢复目标。

## 11.4 评估方法

### 11.4.1 现场踏勘

通过现场踏勘，了解地表水生态环境恢复进展，判断地表水和沉积物是否仍有异常气味或颜色，观察关键水生态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。

### 11.4.2 监测分析

根据恢复效果评估计划，对恢复后的地表水和沉积物进行采样监测，分析地表水和沉积物污染物浓度等指标，开展生物调查以及水生态服务功能调查。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和沉积物环境以及水生态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分析恢复效果。

### 11.4.3 分析比对

采用分析比对法，对照地表水和沉积物环境治理与水生态恢复方案，以及相关的标准规范，分析地表水和沉积物环境治理以及水生态服务功能恢复过程中各项措施与方案的一致性、合规性；分析治理和恢复过程中的相关监测、观测数据，判断有无二次污染和其他生态影响产生；综合评价治理恢复过程的合规性。

### 11.4.4 问卷调查

通过设计调查表或调查问卷，调查基本恢复、补偿性恢复措施所提供的生态服务功能类型和服务量，判断恢复效果；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。

## 11.5 补充性恢复方案的制定

由于现场条件或技术可达性等限制原因，地表水和沉积物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，需要进一步制定补充性恢复方案，使受损的地表水和沉积物生态环境实现既定的基本恢复和补偿性恢复目标。对于补充性恢复方案不可行或无法达到预期效果的，采用环境资源价值量化方法计算相应的损失。

补充性恢复完成后，也应该开展恢复效果评估。

## 11.6 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。主要内容和要求包括：地表水和沉积物及水生态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；地表水和沉积物生态环境恢复过程规范性评价所依据的标准和评估结果；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；对于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的，应详细介绍主要调查内容和结果。

## 附录 A (资料性附录)

### 常见地表水生态服务功能损害评估方法

#### A.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。

##### A.1.1 水产品供给

由于水环境污染事件、非法捕捞、侵占围垦等生态破坏事件造成鱼虾等水产品的损失，可采用市场价值法对提供淡水产品的供给服务进行评估，计算方法见公式 (A.1)：

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

式中： $V_p$ —生态系统物质产品价值，元/年；

$Y_i$ —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；

$P_i$ —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。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。

##### A.1.2 水资源供给

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，可采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方法见公式 (A.2)：

$$V_w = \left( \prod_{t_0}^t P_{I_t} \right) \cdot P_w \cdot Q_w \quad (\text{A.2})$$

式中： $V_w$ —水资源损失的总价值；

$P_w$ —受影响水资源的影子价格；

$Q_w$ —受影响的水资源量；

$P_{I_t}$ —水产品出厂价格指数，数据来源于统计年鉴；

$t_0$ —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。

##### A.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。

## A.2 支持功能

### A.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。

### A.2.2 生物多样性与自然人文遗产维护

#### A.2.2.1 支付意愿法

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。采用支付意愿法进行生物多样性经济价值的计算方法见公式 (A.3)：

$$V_{BWPT} = \sum_{t=0}^n (\Delta Q_{n,t} \times P_{n,t}) \quad (\text{A.3})$$

式中： $V_{BWPT}$ —损失的价值量；

$T$ —评估期内的任意给定年（0~ $n$  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；

$Q_{n,t}$ —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；

$P_{n,t}$ —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。

#### A.2.2.2 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。计算方法见公式 (A.4) 和 (A.5)：

$$V_{BM} = G_{bio} \times S_{\#} \times A \quad (\text{A.4})$$

$$G_{bio} = 1 + 0.1 \sum_{m=1}^x E_m + 0.1 \sum_{n=1}^y B_n + 0.1 \sum_{r=1}^z O_r \quad (\text{A.5})$$

式中： $V_{BM}$ —生物多样性价值，元/年；

$G_{bio}$ —物种保育的实物量；

$S_{\pm}$ —单位面积每年物种保护的成木，元/hm<sup>2</sup>·年，可结合受损物种或栖息地所在区域的当地保育成木来确定；

$A$ —群落面积，hm<sup>2</sup>；

$E_m$ —区域内物种  $m$  的濒危物种指数分值；

$B_n$ —区域内物种  $n$  的特有物种指数分值；

$O_r$ —区域内物种  $r$  的古树年龄指数；

$x$ —计算濒危物种指数的物种数量；

$y$ —计算特有物种指数的物种数量；

$r$ —计算古树年龄的物种数量。

### A.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。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，可以采用市场价值法计算。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。航运支持服务功能价值量为客运价值量和货运价值量的总和，计算方法见公式（A.6）：

$$V_t = Q_{\text{客}} \times L_{\text{客}} \times P_{\text{客}} + Q_{\text{货}} \times L_{\text{货}} \times P_{\text{货}} \quad (\text{A.6})$$

式中： $V_t$ —航运价值量；

$Q_{\text{客}}$ —水路运输的年客运人数，人次；

$L_{\text{客}}$ —客运路线长度，km；

$P_{\text{客}}$ —客运价格，元/人次·km；

$Q_{\text{货}}$ —水路运输的年货运量，t；

$L_{\text{货}}$ —货运路线长度，km；

$P_{\text{货}}$ —货运价格，元/t·km。

## A.3 调节服务

### A.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被破坏，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，计算方法见公式（A.7）：

$$F_{lr} = S \times \Delta H \quad (\text{A.7})$$

式中， $F_{lr}$ —调蓄量；

$S$ —湖泊或水库面积；

$\Delta H$ —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，计算方法见公式（A.8）：

$$F_m = S \times \Delta H + O \quad (\text{A.8})$$

式中： $F_m$ —调蓄量；

$S$ —沼泽湿地面积；

$\Delta H$ —洪水前后沼泽湿地水位变化量；

$O$ —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，计算方法见公式（A.9）：

$$V_f = F \times c \quad (\text{A.9})$$

式中： $V_f$ —洪水调蓄价值；

$F$ —所有湿地（湖泊、水库、沼泽）洪水调蓄能力；

$c$ —建设单位库容的造价。

### A.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。常见于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。

水质净化计算需要根据污染情况选取不同的计算方法。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，计算方法见公式（A.10）。

$$Q_{wp} = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (\text{A.10})$$

式中： $Q_{wp}$ —水污染物排放总量，kg；

$Q_i$ —第*i*类水污染物排放量，kg；

*i*—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，计算方法见公式（A.11）、公式（A.12）和公式（A.13）。

$$ALV_x = HSS_x \times pol_x \quad (\text{A.11})$$

$$HSS_x = \frac{\lambda_x}{\lambda_w} \quad (\text{A.12})$$

$$\lambda_x = \log(\sum_U Y_u) \quad (\text{A.13})$$

式中： $ALV_x$ —栅格*x*调节的载荷值；

$pol_x$ —栅格*x*的输出系数；

$HSS_x$ —栅格*x*的水文敏感性得分值；

$\lambda_x$ —栅格*x*的径流指数；

$\lambda_w$ —流域平均径流指数；

$\sum_U Y_u$ —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治理成本法进行计算，利用水污染物治理成本进行核算，计算方法见公式（A.14）。

$$V_{wp} = \sum_{i=1}^n c_i \times Q_i \quad (\text{A.14})$$

式中： $V_{wp}$ —地表水生态系统水质净化的价值，元；

$c_i$ —单位污染物治理成本，元/t；

$Q_i$ —污染物水质净化实物量，t。

### A.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。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。气候调节实物量依据水面的蒸发量进行估算，计算方法见公式（A.15）：

$$E_{we} = E_w \times q \times 10^3 / 3600 \quad (\text{A.15})$$

式中： $E_{we}$ —地表水生态系统水面蒸发消耗的能量，kW·h；

$E_w$ —水面蒸发量， $\text{m}^3$ ；

$q$ —挥发潜热，J/g。

气候调节价值量采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，计算方法见公式（A.16）：

$$V_{tt} = E_{we} \times P_e \quad (\text{A.16})$$

式中： $V_{tt}$ —地表水生态系统气候调节的价值；

$E_{we}$ —地表水生态系统蒸发过程消耗的总能量；

$P_e$ —一般参考工业电价。

### A.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评估，计算方法见公式（A.17）：

$$Q = A \times (X_2 - X_1) \quad (\text{A.17})$$

式中： $Q$ —土壤保持量；

$A$ —湿地土壤面积；

$X_1$ —有湿地植被情景下土壤侵蚀模数；

$X_2$ —无植被情景下土壤侵蚀模数。

土壤保持价值量采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评估，计算方法见公式（A.18）、公式（A.19）和公式（A.20）。

$$V_{sr} = V_{sd} + V_{dpd} \quad (\text{A.18})$$

$$V_{sd} = \lambda \times (Q_{sr} / \rho) \times c \quad (\text{A.19})$$

$$V_{dpd} = \sum_{i=1}^n Q_{sr} \times c_i \times R_i \times T_i \quad (\text{A.20})$$

式中： $V_{sr}$ —生态系统土壤保持价值，元/年；

$V_{sd}$ —减少泥沙淤积价值，元/年；

$V_{dpd}$ —减少面源污染价值，元/年；

$Q_{sr}$ —土壤保持量，t/年；

$c$ —单位水库清淤工程费用，元/ $\text{m}^3$ ；

$\rho$ —土壤容重， $\text{t}/\text{m}^3$ ；

$\lambda$ —泥沙淤积系数；

$i$ —土壤中污染物种类， $i = 1, 2, \dots, n$ ；

$c_i$ —土壤中污染物（如氮、磷）的纯含量，%；

$R_i$ —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；

$T_i$ —尿素、过磷酸钙、氯化钾、有机质（转化成碳）价格，元。

#### A.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，计算方法见公式（A.21）和公式（A.22）：

$$\text{文化旅游实物量} = \text{生态系统文化旅游人数} \quad (\text{A.21})$$

$$\text{旅游文化服务价值} = \text{消费者实际支出费用} + \text{消费者剩余} \quad (\text{A.22})$$

旅游文化服务价值的调查计算步骤如下：

- a) 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；
- b) 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；
- c) 计算每一区域内到研究区旅游的人次（旅游率），计算方法见公式（A.23）；

$$Q_i = \frac{V_i}{P_i} \quad (\text{A.23})$$

式中： $Q_i$ —旅游率；

$V_i$ —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；

$P_i$ —*i*区域的人口总数。

- d) 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。

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

时间成本=旅行时间×客源地平均工资

- e) 计算旅游文化服务的剩余价值，计算方法见公式（A.24）。

$$V_T = \int_{\text{实际旅费}}^{P_m} f(x) dx \quad (\text{A.24})$$

式中： $V_T$ —消费者旅游服务剩余价值；

$P_m$ —追加旅费最大值；

$f(x)$ —旅游费用与旅游率的函数关系式。

附录 B  
(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

表 B.1 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表

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-复氧成本较大。	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。
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。

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
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。
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。
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30 mg/L时，应增加曝气系统。	投资和运行成本低。	该技术在国内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。

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。
河床生态构建技术	通过埋石法、抛石法、固床工法等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。	该技术在国内外应用成熟，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。	该技术在国内外应用成熟，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。	该技术在国内外应用成熟，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。
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。